大话通信

——通信基础知识读本

杨波 周亚宁 编著



- 基础知识 趣味解读 带你轻松学通信
- 漫画插图 巧妙诠释 助你快乐速入门
- 生活实例 贴切类比 帮你明白获知识


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

大话通信

——通信基础知识读本

杨　波　周亚宁　编著

人 民 邮 电 出 版 社

北　京

内 容 提 要

本书是一本关于通信的基础知识读物，内容涉及通信的各个领域，从通信网络的基础架构到包括语音通信、数据通信、移动通信在内的各类通信技术，从通信的服务运营到通信在个人和家庭以及行业和企业中的应用，从基础设施建设到产品开发基础，通俗地诠释了通信的相关知识，并附有行业内的企事业单位和标准化组织等简要介绍。

本书用独特的行文风格，以风趣、幽默的语言向读者讲述通信的发展历程，以独特的视角说明通信的目的和方式，用漫画式的插图帮助读者理解晦涩、枯燥的技术，向通信爱好者展示了通信高科技的巨大魅力，为初学者打开了一扇深入学习通信技术的大门。

本书以通信行业的管理人员和市场营销人员为主要读者对象，也可作为初入通信行业或者打算进入通信领域的非通信专业人员了解通信和学习通信知识的入门书。

大话通信——通信基础知识读本

◆ 编　　著　杨　波　周亚宁
　责任编辑　韦　毅

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
　邮编　100061　　电子函件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京　　　　　　　　印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
　印张：22
　字数：477 千字　　　　2009 年 5 月第 1 版
　印数：1 – 000 册　　　2009 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20440-0/TN

定价：　　元

读者服务热线：(010) 67129264　印装质量热线：(010) 67129223
反盗版热线：(010) 67171154

图书在版编目（CIP）数据

大话通信：通信基础知识读本 / 杨波，周亚宁编著.
北京：人民邮电出版社，2009.5
ISBN 978-7-115-20440-0

I. 大… II.①杨…②周… III.通信技术－普及读物
IV.TN91-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第019772号

内 容 提 要

本书是一本关于通信的基础知识读物，内容涉及通信的各个领域，从通信网络的基础架构到包括语音通信、数据通信、移动通信在内的各类通信技术，从通信的服务运营到通信在个人和家庭以及行业和企业中的应用，从基础设施建设到产品开发基础，通俗地诠释了通信的相关知识，并附有行业内的企事业单位和标准化组织等简要介绍。

本书用独特的行文风格，以风趣、幽默的语言向读者讲述通信的发展历程，以独特的视角说明通信的目的和方式，用漫画式的插图帮助读者理解晦涩、枯燥的技术，向通信爱好者展示了通信高科技的巨大魅力，为初学者打开了一扇深入学习通信技术的大门。

本书以通信行业的管理人员和市场营销人员为主要读者对象，也可作为初入通信行业或者打算进入通信领域的非通信专业人员了解通信和学习通信知识的入门书。

大话通信——通信基础知识读本

◆ 编　著　杨　波　周亚宁
责任编辑　韦　毅
◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号
邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
◆ 开本：787×1092　1/16
印张：22
字数：477千字　2009年5月第1版
印数：1 – 4 000册　2009年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-20440-0/TN

定价：42.00元

读者服务热线：(010)67129264　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154

序

Foreword

通信技术是当代生产力中最为活跃的技术因素，对生产力的发展和人类社会的进步起着直接的推动作用。通信就是传递信息。最早的通信包括最古老的文字通信以及我国古代的烽火台传信。而当今所谓的通信技术是指18世纪以来的以电磁波为信息传递载体的技术。通信技术的发展历史主要经历了三个阶段：初级通信阶段（以1838年电报发明为标志），近代通信阶段（以1948年香农提出的信息论为标志），现代通信阶段（以20世纪80年代以后出现的互联网、光纤通信、移动通信等技术为标志）。

从1838年莫尔斯发明电报开始，通信技术经历了从架空明线、同轴电缆到光导纤维，从步进制、纵横制到数字程控交换机，从固定电话、卫星通信到移动电话，从模拟通信技术到数字通信技术的演进。通信技术的每一次重大进步，都极大地提升了通信网的能力和扩展了通信业务，如从过去的电报、传真、电话到现在的可视通话、即时通信（如MSN和QQ）和电子邮件（E-mail）等，给通信业发展注入了新活力，推动了社会通信服务水平的提高。现在通信技术和业务已渗透到人们生活娱乐、工作学习的方方面面，深刻地改变了人类社会的生活形态和工作方式。随着社会的发展与进步，人类对信息通信的需求更加强烈，对其要求也越来越高。理想的目标就是要实现任何人可在任何时候、任何地方与任何人以及相关的物体进行任何形式的信息通信。

百年来，通信技术一直由西方国家主导其发展。直到世纪之交，历史才发生改变。2000年5月，由大唐电信科技产业集团（电信科学技术研究院）代表我国政府提出的具有自主知识产权的TD-SCDMA，被国际电信联盟（ITU）采纳为3G无线移动通信国际标准，2001年3月被3GPP采纳，这是我国通信百年史上零的突破。移动通信从只支持话音通信的第一代模拟移动通信系统（1G），发展到支持话音和低速数据（如短信）等的第二代数字移动通信系统（2G），再到支持视频通信、高速数据及多媒体业务的第三代移动通信系统（3G）。

当前，处在从 2G 到 3G 转折时期的通信行业正经历着一场前所未有的深刻变革，包括技术、网络、业务以及运营模式。电路交换技术与分组交换技术融合，将导致电信网、计算机网和有线电视网在技术、业务、市场、终端、网络乃至行业运行管理和政策方面的融合。在业务竞争中，各个电信运营商也在打破传统电信的思维或疆界，开拓新的市场。

今天的中国通信业，综合实力正大幅度提高，但从全球经济一体化的角度看，我们更多地扮演着设备制造商、系统集成商和专利权消费者的角色。当然，我们实现了自主创新的 TD-SCDMA 3G 国际标准的商用，但这远远不够！中国作为占全球人口四分之一的泱泱大国，要想从“通信大国”走向“通信强国”，在通信科技方面领先于世界发达国家，实现“创新型国家”，我们需要在通信领域有更多的专业人才和技术创新，需要通过对通信基础知识的普及，吸引更多的优秀人才进入通信领域。

2009 年 1 月 7 日，我国政府为中国移动、中国电信和中国联通分别发放了 3G 运营牌照，我国具有自主知识产权的 3G 国际标准 TD-SCDMA 由全球最大的移动运营商——中国移动主导正式商用，此举标志着我国正式进入 3G 时代。在 3G 时代，移动互联网应用将成为发展主流，将有更多的消费电子（如数码相机、数码摄像机、扫描仪、打印机、电子相框、PDA 等）和家电（冰箱、洗衣机、电视机等）带上通信功能，进入寻常百姓家。如今 3G 已成为我国普通民众津津乐道的话题，如何向大众解释诸多的通信技术术语和业务也成为通信业界的重要任务之一，因此，迫切需要一本深入浅出、通俗易懂的介绍通信基础知识的入门读物。在这种背景下，此书用轻松、诙谐的文字，向读者展示了通信技术和业务应用的巨大魅力，涵盖了当今主流通信技术和业务，包括语音通信、数据通信、互联网和移动通信等。尤其难能可贵的是，本书用“无厘头”式的语言，通俗地解释各种理论和技术术语，结合生活中的常识和案例，图文并茂，从另一个侧面，向普通民众介绍了通信方面的技术知识。

本书的第一作者杨波从 1999 年进入通信行业，多年来一直从事通信技术及相关管理工作，从北京高鸿、大唐电信到上海傲威，积累了一定的经验，本书的出版也是他多年努力的结果。本书适合关心通信技术发展的入门级读者阅读，是对普及通信技术基础知识的有益探索。希望本书能为普及通信方面的概念和基础知识做出贡献，从而吸引更多的优秀人才参与通信行业相关的工作。

陳山枝

大唐电信科技产业集团　总工程师

国家 863 计划信息领域专家组成员

2009 年 2 月

致谢

Acknowledgement

感谢所有让我们快乐、让我们温暖和让我们成熟的人！

感谢 10 多年来那些帮助、鼓励和嘲笑过我们的人，正是他们的帮助、鼓励和嘲笑，督促我们在通信行业中努力奋斗、不断成长！

感谢 10 多年来与我们合作、竞争或者一起学习、共同进步的人，无论是成功的合作还是激烈的竞争，无论是齐头并进还是优胜劣汰，都成了值得我们永久保存的精神财富！

感谢我们的儿子杨骏洲。为了这本书，我们牺牲了大量和他在一起玩耍的时间。我们的儿子杨骏洲在本书出版后就迎来他三岁的生日，作为补偿，我们将不断努力给他创造一个比物质世界更为丰富的精神天堂。我们期待，中国的通信业在他这一代成长起来时将更加繁荣！

感谢我们的父母，他们给了我们聪明的头脑和勤劳的双手，让我们最终战胜了自我。虽然他们对通信一窍不通，但是我们在本书出版后还是要各送一套给他们，让他们感受新技术不但可以表现在他们拿的手机上，也可以从儿女所写的书中淋漓尽致地体现出来。我们不期待他们能读懂，但是希望这本书让他们的晚年多一份欣慰和快乐！

感谢弟弟杨涛，在移动通信尤其是 3G 知识方面给了我们莫大的帮助。期待他能尽快成长成为移动通信行业的专家！

感谢何建伟女士，她为本书与研发相关的章节提供了大量宝贵的、有价值的信息，并为本书提出了大量中肯的意见和建议，她不愧是上市公司的 CTO！

感谢熊书云，他利用业余时间为我们搜集了大量基础素材。在搜集资料的过程中，他也在不断进步。

感谢本书的绘图员陈军、李萍和小雪，他们的绘画为本书增色许多。

感谢深圳海硕丰公司的创始人孙延宏，虽然他远在深圳，但是他的经历、创意和豁达开朗的性格，深深影响了我们。他的公司经营得风生水起，我们也希望他的产品能卖到更多的国家！

感谢袁奇立、龚辉和程小钟，上海安畅的三剑客，没有他们的鼓励，我们恐怕不会在写完前言以后继续下去，希望他们的 IDC 业务越做越好！

感谢为中国开源通信软件事业做出贡献的孙冰和他的 Freeiris（中国开源的 IP-PBX）组织，不仅仅是因为他们对本书的关心和鼓励，更可贵的是，他们默默无闻地为中国通信软件的发展而无私奉献着。他们是中国通信业的脊梁！

感谢我们身边的朋友们，每当我们遇到困难，他们都会给予无私的帮助。感谢大唐电信陈山枝总工的指导，感谢上海傲威总经理刘宇先生，感谢 AVAYA 中国的孟海军，北京电信设计院的汪金，中国联通的何应勇、王冬梅、陈石，大唐移动的刘丽君，日立中国的萨仁高娃，北京蓝海迅捷的泽仁多吉、孙敏、钱岑，河南通码的龙泉录，北京电信的戚广岭，大唐电信的吕东风，三星电子的夏素华，全球 IP 通信联盟副总裁范挺先生，以及好友程翰、彭涛、杨莹丽、李薇薇，还有许多我们都来不及罗列名字的朋友，他们都成为我们最初的读者并不断为本书提供建议和意见。为了给通信人一本有更加新鲜口味的图书，我们不得不在他们身上反复做试验。他们的支持，让我们有一种做了回白居易的感觉。

感谢本书的所有读者，你们的宝贵建议和意见，请反馈至本书责任编辑的电子邮箱 weiyi@ptpress.com.cn，以帮助我们不断改进和提高。

幸福的老杨一家

2009 年 1 月于北京

导言

Introduction

在快乐中学习

先问你一个问题。你知道中国有多少人在干通信这一行么？10 万？20 万？不，粗略估计，应该在几百万人！你和老杨都属于这个人群中的一员。在这个庞大的行业中，大大小小的你和大大小小的老杨们被分工细化为无数工种：软件工程师、硬件工程师、安装工程师、维护工程师、测试工程师、售前工程师、培训师、管理者、美工师、系统分析员、编辑、记者、教师、咨询师、销售等，我们所在的单位可能是工业和信息化部或者下属机构、代理商、设备制造商、渠道商、运营商、增值服务提供商、VNO（虚拟运营商）、ISP（互联网服务提供商）、ICP（互联网内容提供商）、NSP（网络服务商）、ASP（应用服务提供商）、SI（系统集成商）、媒体、展商、咨询公司、出版商、研究院、学校、招投标公司、进出口贸易商，等等。还有各种各样的职位，财务、商务、采购、人力资源、行政、库管，甚至是公司的前台、助理、秘书、打字员，这些职位本身和通信技术的关系并不很大，但不可避免地要与各种通信技术打交道，不可避免地要接触大量奇怪而复杂的词汇，也不可避免地要向某些一瓶子不满半瓶子晃荡的所谓“高人”去请教，并很可能碰一鼻子灰，即使不碰一鼻子灰，他们往往也会成为你进步的绊脚石。遇到陌生的词——中文词组或者英文简写——查教科书吧，枯燥的语言和生僻的公式又让人望而却步。“耳濡目染”固然可以，但是要想真正较为体系地了解通信全貌，还不得不从理论上从头开始学习。

相对而言，通信专业毕业的人应该是理论最扎实的，但其人数却远远无法满足行业的巨大需求。琳琅满目的新技术、新术语、新概念、新知识、新产品带来了欣欣向荣的新形势、新思路、新理念、新方法、新故事！即使是通信专业的学生，都已经应接不暇，其他专业的学生更是无从下手！因此，中国的通信企业里面



出现了大量“菜鸟级”员工，很多甚至占据着重要的工作岗位。这是事实，绝不是耸人听闻！于是，问题就来了——很多运营商中参与招标选型的员工不懂要选的产品，很多设备供应商中投标的员工弄不明白自己的方案，很多贸易公司的商务专员只会处理合同金额和付款方式，很多系统集成商的销售人员只会像卖白菜一样推销自己的产品，许多软件提供商的售前人员能默写自己产品的技术细节而对整个行业缺乏深刻理解和认知，对行业中的替代型技术懵懵懂懂甚至一无所知，许多技术服务工程师只会安装和配置自己企业的产品而对其实现原理一窍不通，以致遇到稍微复杂点的问题就束手无策……诸如此类的事情，在中国的通信业内屡见不鲜。这些问题的出现，会影响企业中个人的长期发展，对企业本身的创造力也是一种很大的束缚。个人不能进步，企业迟滞发展，那么中国的通信企业要想赶上西方人的步伐就需要更长的时间，我们梦寐以求的高速发展则只是空口无凭随便说说，西方软件供应商、硬件供应商、专利所有者来中国抢占市场依然易如反掌，中国人通过密集的劳动力赚来白花花的辛苦钱只能为别人做嫁衣裳……为此，老杨经常痛心疾首，于是痛定思痛，决心用最切实可行的方法把自己所熟悉的通信专业知识传授给从业人员。综合实力的提高得益于人综合素质的提高，我们的邻国日本在这方面的努力非常值得我们借鉴。

那么，究竟采用何种途径和方式呢？老杨是个善于思考的人。为了让各类型初学者们掌握基本的通信知识，能够在各自的工作岗位上立稳脚跟，老杨认为办通信知识培训班是个不错的选择。这一宏大目标所需的人力、财力、物力以及精力是一笔巨大的开销，老杨自然希望风险投资人很风险地给老杨投一笔资金，但是风险投资人很可能害怕这样的商业模式太过风险。并且老杨很清楚，即使我们潇洒地“风险”一回，把培训班、学校或者函授中心真的办起来了，能有几个人真正有时间、有精力和有经济实力去上课呢？一个企业能让财务部经理去培训通信专业课么？能让人力资源经理去学习电话是如何打通的、IP 地址是如何分配的么？这恐怕又是一个需要慢慢培养的过程，任何人的成功都得益于在恰当的时候办了恰当的事情，但并非人人都能成为成功者。另外，老杨能力有限，可不希望办一个价格和教师名气一流、技术水平二流、授课水平三流的学校误人子弟！怎么办呢？

老杨从自身多年的学习经验中总结了一个结论：**最好的方法，就是采用轻松、愉快的方式学习知识，并在学习知识过程中，学习“掌握知识的方法”**。古人说，“授人以鱼，不如授人以渔”。普天之下爱鱼之人，不妨把这句话记录到小本上。

出于这个目的，本书诞生了。怀胎三年，一朝出版。

老杨写这本书的初衷，就是让初涉通信的人远离复杂的公式、抛开大段大段晦涩的专业论述，放松心情，愉快地接受人类文明的瑰宝——通信技术！让我们放眼看看各种各样的通信技术，它们距离现实世界原来是这么近，并不是那么神秘兮兮和遥不可及。对于初学者而言，复杂的公式和繁琐的图表都一样面目可憎。为了不让读者感到枯燥乏味，老杨花了大量心思，用普通的生活常识来类比复杂的通信知识，并且让任何学到的知识具有可延展性而不是简单地就事论事。也许这就是“授人以渔”吧！

老杨不指望任何人读完这本书就能成为通信专家，但是希望通过阅读数次，本书能让每



位读者对通信世界的复杂概念有更加清晰的理解，认识到大量的通信名词原来也并不难懂，在这一方面，老杨还是有信心的！如果你是通信爱好者而非通信专业人士，也可以把它理解为一本通信普及读物。本书力图结合现实，结合生活中的常识和案例，图文并茂，尽可能让读者易于理解和接受。希望对你有所帮助！

总结一下本书的特点：

- 没有繁杂的公式、没有对某个技术细节长篇大论的描述，强调定性而非定量；
- 对通信技术中比较难理解的细节，用生活中的例子来做类比，用通俗易懂的语言描述晦涩的术语和复杂的逻辑；
- 尽可能涵盖通信行业最主流技术和最新的成果；
- 用诙谐、口语化的语言诠释理论，用轻松、愉快的图示来诠释文字；
- 对通信的历史和现状发表老杨的观点和看法，期待与读者共同思考。

总之，在快乐中学习，在快乐中提高，在提高中能有所思考，是本书的宗旨。良药未必苦口，忠言未必逆耳。这，也许是老杨的自负吧！不管实际上是否能够完美地达到预期的目标，老杨都将为之不懈努力。那么，我们就开始吧！

天黑，请闭眼！

目录

Contents

目录

Contents



目录

Contents



目录

Contents



目录

Contents



目录

Contents



前言

PREFACE

话说“通信”基本概念

这 10 年来，信息技术——也就是连卖盗版光盘的老太太都自称所在的行业——IT[1]业，发展太迅速了！

中国人流行谈论计算机的发展，老杨也经常给朋友们讲，本人当年买过 CPU 主频 133MHz、硬盘 1.2G、内存 32M 的计算机，这样的配置足以把同宿舍的人羡慕得一塌糊涂。然而那些当年高贵得一塌糊涂的“奢侈品”，今天大部分已经成为“电子垃圾”。当今我们广泛应用的最新科技产品，很可能在几年后又成为新的垃圾。“摩尔法则[2]”正在以超过预想的速度一次次验证其正确性。

这 10 年中，中国人流行谈论电话号码的不断升位和手机的更新换代。自 20 世纪 90 年代初开始，全国大部分城市的固定电话号码从 5 位数升级到 6 位、7 位；很快地，有些地区已经到了 8 位。手机号码也于 1999 年从 10 位升为 11 位（如图 1 所示）。要知道每升 1 位，容量将扩大 10 倍，而几年内升 2 到 3 位，容量扩大 100～1 000 倍之多。从数量级上的差异，就能看出高速发展的通信行业的概况。自 20 世纪末开始，很多人都已经先后换了不止一部手机，蓝屏变成了彩屏，手机上多了摄像头，可以播放 MP3 和 MP4，短信祝福代替了刚刚养成习惯的电话问候，手机都下载了彩铃，手机振铃的声音也因换成了 64 和弦而越来越动听……图 1 中的场景，我们是否历历在目？

这 10 年大家谈论最多的还有互联网的高速发展。虽然互联网还处于初级阶段，它已经在很多方面改变了许多人的生活方式。人们学会了拨号上网，学会了发送电子邮件和上网阅读，并把自己的观点写到 BBS 上或者博客（Blog）上，用 BT 下载自己喜欢的电影，通过“百度”“摆”一下或者“谷歌”“钩”一下，来获取所需的知识或者信息，和朋友用 QQ 或者 MSN 视频聊天，到淘宝上购买自己喜爱的“宝贝”……互联网的力量是巨大的，有网友共同指证某

---

[1] IT 的英文全称是 Information Technology，就是信息技术。

[2] 它是英特尔公司创始人之一戈登•摩尔（Gordon Moore）于 1965 年在总结存储器芯片的增长规律时（据说当时在准备一个讲演），发现“微芯片上集成的晶体管数目每 12 个月翻一番”。当然这种表述没有经过什么论证，只是一种现象的归纳。但是后来的发展现象却很好地验证了这一说法，使其享有了“定律”的荣誉。后来表述为“集成电路的集成度每 18 个月翻一番”，或者说“三年翻两番”。





图1　高速发展的语音通信

件事情带有欺诈，如华南虎照片真假的大讨论；也有对某些不良社会风气的同仇敌忾，或是令人触目惊心也令法学界争论不休的“人肉搜索”，也出现了网络学术争论和针对中国某体育项目恨铁不成钢的宣泄；一些年轻人泡在网络游戏中不能自拔，引发了关于互联网的舆论压力和舆论暴力如何辨别的探讨；无论是明星还是草根，都热衷于将自己的照片或者心得贴到自己的“博客”上，而网络八卦新闻更成为娱乐界流行的旋律；昨天还默默无闻的人突然间就闯入我们的视野并迅速走红并迅速人间蒸发；“5·12”汶川大地震，国人都通过网络时刻关注第一时间来自灾区的最新消息，关注受灾百姓的生活、关注压在废墟下的人们的生死存亡……不管人们是否承认，互联网都已经改变了和正在改变着人们的生活！图 2 中的场景，也许每天都在发生。



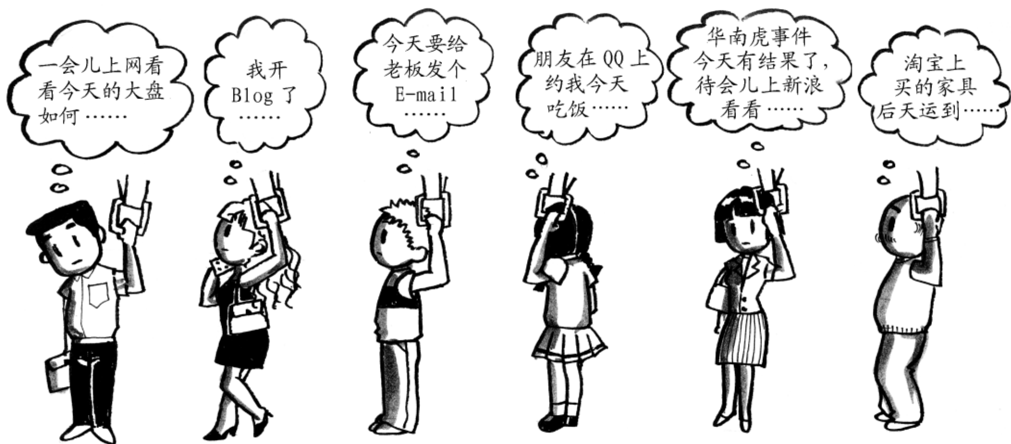


图2 高速发展的互联网通信

当然，“互联网”这个词总伴随着另外一个词出现，那就是“泡沫”。互联网商业模式，全球范围内都在发展、探索、失败、总结中，从表面上看，不断有新的商业模式出现，也不断有泡沫破裂，这是个耐人寻味的现象。从深层次分析，互联网的发展是和人类应用习惯及其变化相辅相成的，对未来的预测，必须具备足够的科学知识和社会常识，这也是通信要研究的内容——如何“以人为本”地创造新技术和新模式。

总体说来，计算机和通信技术在飞速发展，它们的结合具有划时代的意义。以计算机为代表的IT产业和以语音、数据通信为代表的CT产业，在进入21世纪后，融为了ICT[3]产业。ICT带来了一切可能带来的东西，不管这些东西是好还是坏。

通信人在不经意间成为历史的见证者。通信与每个人关系最密切的，应该就是各种通讯终端了，比如手机、电话机、PDA、电视机，当然也包括计算机。本书除了介绍这些大家都能见到的“终端”以外，还要介绍让这些终端成为通信手段和工具的“背后”的东西——通信网！

所有人与人之间近距离的直接交流，要么通过面对面地说话，要么用体态（如手势、身形等）表示。当然，如果两个人之间隔着一定距离，那么方法无非以下两种：要么把要表达的内容写到纸上寄给对方，于是从信鸽发展到了邮政业；要么把要表达的内容转换为文字、声音、标识，再通过某种装置变成电磁信号，通过光纤、铜线、无线等传送方式，从地球的某个角落传送到另外一个角落，于是，从烽火台、信号灯开始，发展到通信业。

我们常常感到，越是简单的词汇越难以解释：它可能随着岁月流逝而不断演进，比如“宽带”一词，最早高于64kbit/s就叫做“宽带”，现在恐怕2Mbit/s带宽在很多企业都不够用；有的词汇也可能在某个历史瞬间就被人们摒弃，比如“B-ISDN（宽带综合数字网）”；还可能

[3] ICT的英文全称是Information and Communication Technology，这是IT和CT产业融合的新产业。

被其他技术所替代，比如“步进式交换机”早已被“程控交换机”所取代。我们谁也不敢说，现在那些名词，在不久的将来会不会演进、消失或者被取代。

要研究通信，就要先了解最简单的、最常用的沟通表现形式——就是两个人的交谈。两个人站在那里，你一言，我一语，说的不亦乐乎——千万别小看这生活中每天都发生无数次的细节，里面蕴含着通信的诸多要素呢。首先，通话至少需要甲乙双方（一个人的自言自语当然不能归结为“通信”的范畴），甲说一句话，乙听到了，甲就是信息的源头，而乙呢，是信息的“宿”，就是信息“目的地”。甲的声带、腹腔、胸腔的震动，通过声波传到乙的耳朵里，乙接收；接着乙做相同的动作，发出声波并在空气中传到甲的耳朵里，甲接收。当然，假如甲在讲台上作报告，乙、丙、丁等人坐在下面听，这也是一种沟通交流的方式。甲对乙说话叫做“单播”，甲对一群人说话叫做“广播”。假如甲是老师，他对教室里喊一句：“所有男生请起立！”这种情况叫做“组播”。因为他并不是给每个人说话，教室里坐的有男生，也有女生，他说话的对象是人群的一部分（即“男生”）。沟通的目标对象不同，在通信技术中采用的技术制式就有可能有差异（如图 3 所示）。



图 3　单播、组播与广播

通信研究的就是从一个信息的源头到信息的目的地整个过程的技术问题。但是不管什么情况，你都可以把通信的源头和目的地分别想象为一个人群，比如想象成两个人、三个人或者一万个人。

如果本书研究上面所提到的所有沟通过程，恐怕会成为一部鸿篇巨著！因为需要研究的方向太多了！信件、书法、口才、邮路、声波的传送、声带的构造、耳朵的构成、大脑皮层的工作原理等，恐怕都得成为我们的研究内容。而实际上，本书要探讨的仅仅是上述诸多研究对象中的一小部分，从严格意义上说，应该叫“电信”。其他大部分，应该在生理学、解剖学、社会学、物理学、文学、流体力学、邮政学中做探讨，不属于本书的讨论范畴。



上面的内容并不难理解，难理解的是我们经常遇到的一些词义的混乱。比如“通信”、“电信”二者经常混为一谈。“电信”是什么？有的专家如是说：通过电磁信号传送媒体情报的方式叫做电信。将这个说法简单化，可以说电信就是用电或者磁信号，把要表达的信息传递到目的地去。在这里，老杨不想过多地解释“媒体情报”是什么，因为人人都知道通过通信网能传送什么信息，但是为了规范化，专家们用这么一个奇怪的词汇来表示，是为了涵盖所有可能传送的信息以及规避那些钻牛角尖的人的奇怪发问。若干年前就有人提出，用手电筒开关打出“三长两短”算不算电信呢？如果这“三长两短”是从灯塔向外发出的信号，表示发送人正处于危险状态，那么当然算电信，并且还算光通信呢！因为它的确利用了电磁信号（光也是一种电磁信号），并且传递了媒体情报！专业化术语，可能会让初学者感到茫然和不知所云，但也许当你再深入学习一段时间后，你会认为这样的定义其实是有价值的。

在具体工作和实践中，人们常说的“通信”和“电信”已经混乱了。“通信原理”其实应该是“电信原理”，“通信网”其实应该是“电信网”。老杨只能按照人们的一般习惯，继续使用“通信”这个词，但是大家一定要知道，本书涉及的所有内容，都与电磁信号传送媒体情报有关。

研究通信的人不得不研究网络，因为通信要将信息从源头送达目的地，信息就必须通过中间的各种线路、设备、转换装置等，或者通过空气（无线网络）进行传送。而这些线路、设备等连接在一起就构成了网络，来满足信息传递的所有要求。

我们举个例子来说明通信网络到底是怎么回事，对读者会有所帮助。生活中与通信学类比最好的例子，是道路交通。本书很多通信的概念，都会用这样的例子来做分析。繁忙的城市，货物要被运送，人要去往自己的目的地，整个城市的交通道路网络是极其重要的。城市就好比整个通信系统，货物、人就像通信系统要传递的信息，道路交通设备就像通信系统中的传送网、交换网、路由网等各种技术体系的网络架构，道路交叉点就是通信网络中的交换机、路由器等。

在交通规划中，必须保证任何地点出发的交通工具（无论装载着货物还是人）都能安全、顺利、完整地到达目的地。如果是运送货物，你需要将货物拆分、打包；如果是运送人，你要将人群分组。接着，就要选择合适的交通工具，比如选择大型货车、小型货车、公交车、出租车或是地铁。交通工具不能超载，要严格遵守交通规则……如此等等。这就是通信网中的编解码以及数据分组格式的选择。

好，假设你开车从王府井去鸟巢，你可以根据自己的经验或查看地图来选择最畅通的道路行驶，也可以收听 FM103.9 北京交通台，实时获取最新的路况信息来选择路径。在通信网中，这就是路由协议、流量工程等涉及的知识了。

形象地说，通信人不断地进行通信中的“道路”、“车辆”以及“信号灯装置”和“交通规则”的标准定义、设计、开发、制造、建设、维修维护，并向有运送需求的人提供有偿服务，如图 4 所示。

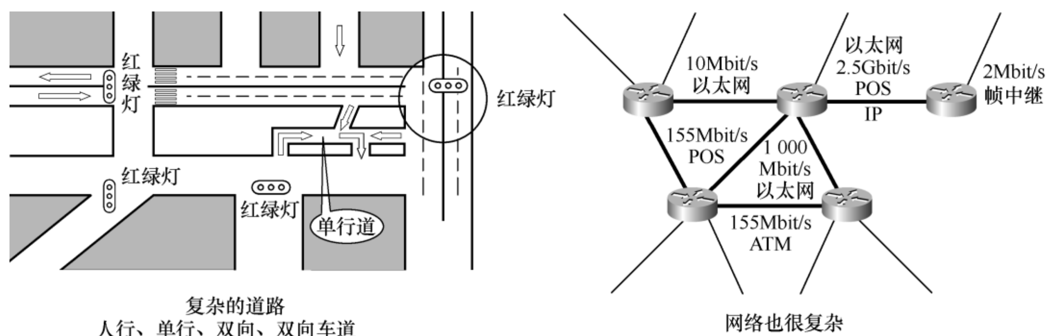


图 4　道路交通和网络架构

这时候我们发现了一个重大问题：我们人与人之间的沟通，有特定的语言，比如中国人之间说话，用汉语，双方能够比较好地表达思想。但是，通信过程中涉及的都不是生物，除了通信终端边上的人以外。带有路由、交换、传输、转换、复用功能的通信设备，都没有真正意义上的智能，最多也就是“人工智能”。在科技还没发达到人工智能完全代替人类的时候（当然，人类是否愿意被完全替代，还要另议，这也不属于本书讨论范围），通信各个环节之间的沟通是靠什么？靠信号！而这些信号必须要有一些基本的规则，比如我告诉你我正在吃饭，我可以直接用嘴告诉你；可是如果我不想说话呢？我可以左手端在下巴下 20 厘米处，手心朝上，右手握成窝状，频繁在左手和嘴之间上下中速移动，对方看到后就知道，这可能是表示吃饭的动作。你的眼睛要根据看到的东西判断我表达的意思。通信各个环节之间沟通也是一样，手机如何告诉基站其所在的位置？电话机如何告诉对方“我摘机了，准备拨号”？如何向对方表达我正在拨号？交换机之间有连线，交换机 A 怎么知道交换机 B 是北京的交换机，而自己身处上海呢？将有大量的消息要在人所发明的机器之间相互传送。一方要表达的含义，另外一方如何能接收并且接受？很简单，我们要设置一些让对话双方都看得懂或者理解得了的消息，在通信技术中，如果 A 告诉 B 一件事情，它们之间必须预置共同的、双方都能理解的语言。这种语言，在通信里被称作“通信协议”。在通信的设备里，通过硬件和软件的配合，让它们都“内置”相关的通信协议，这就是通信产品开发人员和安装配置人员所要做的事情。

现代通信虽然发展时间并不长，但是通信协议却非常多。很多通信专业书籍，都在讲通信协议的创建目的、创建过程、协议本身以及由此带来的新的问题。在本书中，老杨将详细描述通信协议究竟要解决哪些问题，它们是如何解决这类或这些问题的。

对于新入门的读者，一定要明确：通信和数学不同。数学是诠释大自然普遍规律的一门科学，任何定律，虽然是人发现的，但没有人感性的成分存在。而通信则不同，通信中的大量协议，是在科学基础上人为定义的，比如 IP 数据包长度范围，它符合科学规律，能够提高效率，但为什么要那么定，这就是人为规定了；再比如 PCM 编码（就是打电话的声音在铜线上传送的时候编成的二进制码，就像发电报要用电报码一样），也是人定义的，



你当然可以自己做一套新的编码方式，但是必须让国际标准化机构认可，否则你无法与其他厂家的产品做互连互通，如若不然，再好的编码方式，恐怕都不会被大众所应用。这种状况，造就了在同一个技术规范下，不同的标准化组织可能会定义不同协议的情况，本书中会提到很多这样的案例。所有的通信协议都是通过通信标准进行定义和规范的。通信标准是各个国家之间、机构之间、企业之间或者国家内部协商确定的。这就好比每个国家都要制定各自的官方语言，以统一各种方言一样，中国就要推广普通话，这是全中国人沟通和交流的基础。当然，也有一些行业自己定义了一些标准，我们一般称之为“行业标准”。

上文内容，虽然描述啰嗦一些，但对后续章节的理解有益。接下来，老杨需要对通信中诸多基本技术术语做简要解释。这些解释，很遗憾，很多都属于“自己解释自己”，如果读者仍无法完全理解下面的所谓“基本概念”，不妨去查查相关资料，或者硬着头皮背下来，并在后面章节提到这些词汇的时候多思考，以彻底领悟并最终融会贯通。

- 信号：通信信道上传输的电编码、电磁编码或光编码叫作信号。信号可以是模拟信号或数字信号。
- 信道：信道是传送信号的通路。信道本身可以是模拟的，也可以是数字方式的。用以传输模拟信号的信道叫作模拟信道，用以传输数字信号的信道叫作数字信道。

信息：这是一个人人都知道是什么但要严格表达其概念又十分困难的术语。从哲学的观点看，信息是一种带普遍性的关系属性，是物质存在方式及其运动规律、特点的外在表现；从通信的角度考虑，可以认为是生物体通过感觉器官或具有一定功能的机器通过特定装置同外界交换的内容的总称（够专业够严肃够博大精深吧！）。信息的含义是信息科学、情报学等学科中广泛讨论的问题；一般认为，信息是客观世界内同物质、能源并列的三大基本要素之一。信息总是与一定的形式相联系，这种形式可以是语音、图像、文字等；信息是通过通信系统传递的内容。好了，有人问，孩子的哭声是不是信息？回答：是的。因为孩子的哭声是孩子通过感觉器官（喉咙、嘴巴）同外界交换的内容（要吃饭、要睡觉等），只是这个信息不容易被常人理解罢了，做了父亲的老杨当然还是有些研究的。

数据：它是任何描述物体概念、情况、形势的事实、数字、字母和符号。可以说，数据是传递信息的实体，而信息是数据的内容或表达形式。在通信中传递的信息一定要“数据化”，无论什么内容，一定要通过某种数据的形式传递到对端，无法用数据描述的信息是无法传递的，比如气味。数据的形式要明确，数据本身未必是明确的——这仿佛有点逻辑混乱，在这里，大家一定要搞清楚。比如 A 通过电话告诉 B，他不一定有空赴宴——其表达的意义是模糊的、不确定的，但是其数据形式是清楚的、确定的，因此，在 A 表达了此意以后，B 获得的消息是“A 不一定有空赴宴”。

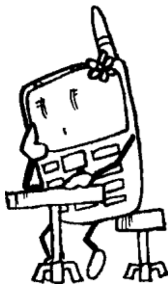
通信网中的很多概念其实是模糊的，比如有了异步转移模式（ATM）技术之后，把以前的同步数字序列叫作同步转移模式（STM），但是，分组交换（如 IP 交换）是哪种转移模式？很遗憾，没人定义。HFC 本来是混合光纤同轴技术，应该说所有光纤+同轴传送技术都应该属于 HFC 范畴，但是现在却被当作双向改造后广电网的光纤+同轴技术了。这些情况，往往让

初学者们叫苦不迭，很多传统的学习方法不能有效利用，很多“举一反三”往往得到错误的结果。造成这种情况的原因，老杨归纳如下。

- 由于电信概念、机理和技术发展太快，专家们来不及仔细考虑某个标准定义可能带来的后果；工作在一线的人因为工作繁忙，来不及理解透彻，而工作在二线的人因为离开了一线，未必认识到讨论某些概念有何意义。
- 某些企业出于商业运作的考虑；这样的例子不胜枚举。
- 相互替代性较强的技术定义比较含糊，而理解起来难度更大。
- 通信专家的工作习惯和命名时存在的某些缺陷扩大了概念混淆，如前文提到的 ATM 和 STM，又比如 AN（Access Network，接入网）仅指语音网的 V5 接入系统，数据接入网并不在 AN 所涉及的范畴之内。

总之，很多通信概念的模糊，都是事出有因的。概念模糊和混淆不可能完全澄清，但也不能放任自流。人们可以识别一些一时出现的概念混淆，却不能脱离永恒的技术融合与技术发展，而在此过程中又不断产生新的混淆的概念。这种“大体的平衡”将在通信行业或者电信行业中长期存在。

第1章 Chapter 1



通信发展史

残阳如血，飞鸟归巢，远处山口突然尘土飞扬。你看到了成群的敌人从山那头层层逼进。你直起身，规整好有些凌乱的铠甲，放下那柄随身带的刀，从箭楼下面的火堆中拿出一根正在激烈燃烧的树枝，走到那一堆干柴和动物粪便混合而成的什物中间，点燃了它们。少顷，滚滚浓烟直插云霄！你站起来，拿好你的刀，望着这黑烟，祈祷上苍尽快把救兵派到，你很清楚，如果稍有差池，你将永远无法回到你日夜思念的亲人面前……你是这个地球上最早的通信人，你点燃的那注狼烟就是人类远程通信的鼻祖。虽然你对此毫不知情，但这并不妨碍几千年后，中国某知名通信设备制造商用它的名字命名自己的企业。这注自你开始一站一站向你的国都传递的狼烟，有一个专有名词，叫做“烽火”。

21世纪某个高楼林立的街角，你坐在星巴克品一口卡布奇诺，用鼠标点击“下单”，那只被你仔细研究并看好的蓝筹股立刻被委托买入。3～5分钟的焦急等待，股市开盘了，你马上查询当日交易，买入成功！你长舒了一口气，顷刻间，大盘飙红，你买的那只股票已涨停！你又抿了一口咖啡，突然觉得这场景似曾相识。几千年前，烽火台上的将士也是这样长舒一口气，呷一口烈酒，仰天长啸！因为他看到救兵汹涌而来，敌人已闻风而逃！

几千年来，人类从自己的需求出发，不断推进着通信技术向前发展。从烽火台到今天形形色色的通信系统，它们都是人类征服自然的艰苦历程的缩影。而要将这整个历程进行“分代”，老杨认为是件很难的事。历史上的“分代”，是开国君主的登基日为基准日，但是就像所有科学类别一样，在通信的发展史中，新的通信技术是在前人经验、知识不断积累的前提下，到了某个时间段被特定的人群激发出来，并在实践中获得了认可之后才得以广泛的应用，使通信业发生变革或者革命；因此很难定义准确的日期来标识特定历史发展阶段。为了便于初学者的理解，在本章，老杨将通信发展史分为几个阶段，这几个阶段的分界线可能不是非常清晰，但是每个阶段都有自己鲜明的特色，除了“未来通信”外，其他几个阶段都可以用重大的、标志性的事件作为里程碑。

- 古代通信，人类基于最原始需求，利用自然界的基本规律和人的基础感官可达性建立通信系统，最经典的是“烽火传讯”和“信鸽传书”。
- 近、现代通信，从电磁技术引入通信开始，人们尝试使用电话、电报、传真，到成规

模地建设各种电信网络，并创造了性能更强、质量更好、效率更高的数字通信、光纤通信。

- 当代通信，是指在前人基础上创造的移动技术、互联网技术和融合技术的发展历程。
- 未来通信，是在目前人类文明和科技发展的基础上，在可以预见和不可预见的未来，更加强大的通信工具变革和更加广阔的通信发展前景。

老杨说过，要拿具体的"大事件"来进行清晰地分界，是不太现实的。比如当代通信，一般被认为是从 1996 年至今的 10 多年间，其主要的特征是移动通信和互联网的高速发展，但是早在 1979 年，Motorola 就在芝加哥建成试运行的高级移动电话业务 AMPS[1]；互联网则是源于美国军方 1969 年开始建设的基于分组交换技术的 ARPAnet。因此，无论采用何种分类方式，都不可避免地要模糊边界，强调技术的最强盛状态。

另外，本文的"古代"、"近、现代"和"当代"与任何国家的历史教科书中所定义的相同名词不完全相同。老杨这样命名，是希望从通信的眼光看历史，不要过于拘泥于特定日期发生在特定历史阶段。



古代通信：信息沟通的起步

动物之间不可避免要通信。蚂蚁通过互相碰触角、狼发出不同的声音、鸟通过各种叫声来向同伴表达不同的含义，也许是发现了一块不错的食物要与同伴共飨，也许是发现了敌情通知同伴做好战斗准备。

自从有了人类，通信就一直处于有序发展中。人类最早有记录的用于远距离通信的工具之一，就是本章开始时讲述的烽火，用于"发送"烽火的设施，就是"烽火台"。

烽火台是典型的"存储—转发"模式的广播式（传递给所有可看到的地方）、可视（必须视线可达）、无线（没有连接线）、数字化的（只有两种状态"无"和"有"）通信手段。



当最临近敌人的烽火台守候部队发现敌情，守兵会点着狼烟。古人用"狼烟四起"来形容到处都在爆发战争，说明国家危机，百姓要遭殃！距离这支发现敌情的部队比较近的烽火台守候部队接着燃起狼烟，逐步向国内扩散，很快，国家中枢机构就得知前线有敌情，要么派兵增援，要么赶快挑几个王昭君这样的美女去议和。中国历史上著名的昏君周幽王，曾经发生过一段"烽火戏诸侯"的闹剧，就是利用诸侯国对烽火的敏感，在无敌情的状况下点燃狼烟，等各路诸侯派兵救驾，当诸侯们火速赶来，却发现这不过是个玩笑，周幽王的目的只是为了一个叫褒姒的妃子能开颜一笑（如图 1-1 所示）。周幽王因此失去了诸侯们的信任，在真的有敌情的时候却无人来救驾。这个故事给通信人几点启示：

第一，古代的军事通信工具简陋而有效，传送介质可以借助一切自然力量和周

---

[1] 高级移动电话业务是指 Advanced Mobile Phone Service。有趣的是，通信界任何一个时代里，都有专家把当前最先进的技术称为 Advanced（先进的）技术，孰不知，很快，这种先进技术会被更先进的技术所取代。



边环境；

第二，再先进的通信工具，也需要合适的人使用它，才能发挥效能；

第三，千万别拿两样东西开玩笑：一个叫做战争机器，一个叫做通信设施。



图 1-1　烽火戏诸侯

人类发展几百万年，是通过几个网的发展而发展起来的。最早是水网。西亚的两河流域，印度的两河流域，中国的黄河流域，孕育了光辉、灿烂的古代文明；接着是路网，驿路、驿站以及当代的公路、铁路和航路的使用让人与人之间的沟通越来越密切，有了路网，人类创造了一种文本语言的通信手段，也就是我们常说的“信件”；到了当代，电话网、互联网等通信网的发展让人类进入新的历史阶段。因此可以说，人类的文明史，就是网络的发展史。



近现代通信：电磁通信和数字时代的起步

利用电和磁的技术，实现通信目的，被称为“电信”。近代通信起始的标志，就是开始应用“电信技术”。而电磁技术最早的电信应用，就是电报。人类发电报的历史已有 170 多年（这不同于某些酒类广告，“人类品得到的历史，XYZ 年”不知从何而来，电报的历史却是完全有据可查）。

电报的原理是人们用长、短音电信号来标识文字或者词汇，相当于给每个字（或字母）做了一个编码，发报员只要按照编码把文字或者词汇翻译并通过专用的发报装置发送出去即可。在 20 世纪 90 年代以前，很多公司在邮电部门（那时候国内邮政和电信还没分家）注册后可获取一个“电报挂号”。

任何时代通信技术的发展都会受制于当时的科学基础。而在 100 多年前整个通信行业还未体系化、专业化，因此最初的技术突破都是散乱的点，相互之间联系并不紧密，而其发展规律也不够明显。



为了让读者更容易理解，同时看看西方科技高速发展的时候，中国人正在做什么。通过这种对比，一方面让读者感性地了解一下中国的通信发展为什么落后于西方发达国家水平，另一方面，也希望中国当代通信人“知耻而后勇”，为我国通信发展尽快赶超世界先进水平而努力！



1835 年，美国雕塑家、画家、科学爱好者莫尔斯先生（注意他的头衔！）发明了有线的电磁电报。莫尔斯最有名气的是他发明的莫尔斯电码——利用“点”、“划”和“间隔”，实际上就是时间长短不一的电脉冲信号的不同组合来表示字母、数字、标点和符号。（5 年后，中国结束了长达 2 000 多年的封建社会，走向半殖民地半封建社会，其标志是著名的“第一次鸦片战争”）。

1876 年，业余发明家和辅导有听力障碍生的老师——美国人贝尔（也要注意他的头衔）发明了电话机。贝尔和他的助手华生反复试验多年，并在这一年的某一天，将新的设想制成了一个小装置，当天发生了一个小事故：一滴硫酸溅到贝尔的腿上，疼得他直叫喊：“华生先生，我需要你，请到我这里来！”这句话由电话机经电线（在当时只是一根金属导线）传到华生的耳朵里，这就是改变人类通信历史的第一次电话通信——这个故事是否是杜撰的已经无从考据，但是贝尔先生发明了电话机是不争的事实。真正被公认的第一次电话通信是 1892 年纽约到芝加哥的线路开通当天实现的（如图 1-2 所示）。贝尔因此被认为是现代电信的鼻祖，以其名字命名的实验室和电信运营商至今还活跃在美国以至全世界的电信领域。



图 1-2　贝尔发明电话

1878 年，磁石电话和人工电话交换机诞生。

1880 年发明了供电式电话机，通过二线制模拟用户线与本地交换机接通。

1885 年，发明步进制交换机。

1892 年，那个著名的殡仪馆老板史瑞乔发明了步进式自动电话交换机（中国历史上，6 年后的 1898 年，清政府的“君主立宪”运动——戊戌变法开始并迅速失败）。



电报和电话开启了近代通信的历史，但是当时都是小范围的应用，在第一次世界大战以后，发展速度有所加快。

1901 年，意大利工程师马可尼使用他发明的火花隙无线电发报机，成功发射穿越大西洋的长波无线电信号，并因此于 1908 年获得诺贝尔奖。

1919 年，发明纵横式自动交换机（中国革命史的重要篇章——五四运动爆发）。

1930 年，发明传真、超短波通信（第二年，“九·一八事变”爆发）。

20 世纪 30 年代，信息论、调制论、预测论、统计论获得了一系列的突破。

1935 年，发明频率复用技术，发明模拟黑白广播电视（红军长征，两年后，七七事变，抗日战争爆发）。

1947 年，发明大容量微波接力（两年后的 10 月 1 日，新中国成立）。

1956 年，发明欧美长途海底电话电缆传输系统。

1957 年，发明电话线数据传输。

1958 年，发明集成电路（IC）。

20 世纪 50 年代以后，元件、光纤、收音机、电视机、计算机，广播电视、数字通信业大发展。

1962 年，发射同步卫星（两年后，中国的第一颗原子弹爆炸试验成功）。

1969 年，形成模拟彩色电视标准 NTSC、PAL 和 SECAM（一年后的 4 月 24 日，中国的“东方红”卫星发射成功）。

1972 年，发明光纤。

1972 年以前，只存在一种基本网络形态。这就是基于模拟传输、采用确定复用、有连接操作寻址和同步转移模式（STM）的公众交换电话网（PSTN）网络形态。这种技术体系和网络形态一直沿用到现在。

中国的电信网是从电话网开始的。1880 年，由丹麦人在上海创办第一个电话局，开创了中国通信历史的重要一页。

1946 年世界上第一台电子计算机 ENIAC 诞生以后，高速计算能力成为现实，二进制的广泛应用触发了更高级别的通信机制——“数字通信”，加速了通信技术的发展和应用。

1972 年光纤的发明和 CCITT（ITU 的前身）通过 G.711 建议书（话音频率的脉冲编码调制——PCM）和 G.712 建议书（PCM 信道音频四线接口间的性能特征），电信网络发展开始进入数字化发展历程。

1972 到 1980 年的 8 年间，国际电信界集中研究电信设备数字化，这一进程，提高了电信设备性能，降低了电信设备成本，并改善了电信业务质量。最终，在模拟 PSTN 形态基础上，形成了综合数字网（IDN）网络形态。在此过程中有一系列成就值得我们关注：

- 统一了话音信号数字编码标准；
- 用数字传输系统代替模拟传输系统；

- 用数字复用器代替载波机；
- 用数字电子交换机代替模拟机电交换机；
- 发明了分组交换机。

这个时代是中国命运的转折点。中国的改革开放就是在这段时间里开始的。应该说，就是因为这个时候的拨乱反正，彻底解放的生产关系带来了生产力的巨大发展，才让今天的中国人几乎与世界同步地享受着高科技的通信技术带来的全新体验，也让中国人感受到了全球移动通信和互联网时代一日千里的变化。



当代通信：移动通信和互联网时代

目前全球范围内，已形成数字传输、程控电话交换通信为主，其他非语音通信为辅的综合电信通信系统；电话网向移动方向延伸，并日益与计算机、电视等技术融合。如果我们非要给当今时代命一个名字的话，那么老杨认为应该称为“移动通信和互联网时代”。

看过香港电影的人，说起对 20 世纪 80 年代末、90 年代初香港社会的印象，大家会不约而同地提到“大哥大”（如图 1-3 所示）。“大哥大”在当时是身份、地位、财富、阅历的象征。大陆近几十年受到香港文化的影响可谓很深。中国香港无线电视台的电视剧、成龙的电影、四大天王的歌曲和香港的“大哥大”，影响了一代中国人。而中国大陆的移动通信就是从那时候开始逐步发展起来的。



图 1-3　拿着“大哥大”的大佬

看看这个时代全球通信界标志性的里程碑：



1982 年发明了第二代蜂窝移动通信系统，分别是欧洲标准的 GSM、美国标准的 D-AMPS 和日本标准的 D-NTT（三年后中兴通讯成立）。

1988 年成立“欧洲电信标准协会”（ETSI）（华为公司成立）。

1990 年 GSM 标准冻结（北京亚运会成功举办，“我们亚洲，都是高昂的头”响彻神州）。

1992 年，GSM 被选为欧洲 900MHz 系统的商标——“全球移动通信系统”。

2000 年，提出第三代多媒体蜂窝移动通信系统标准，其中包括欧洲的 WCDMA、美国的 cdma2000 和中国的 TD-SCDMA[2]（中国的第一次电信体制改革已完成）。

2007 年 ITU 又将 WiMAX 补选为第三代移动通信标准。

而 20 世纪 90 年代爆发增长的互联网，更是彻底改变了人的工作方式和生活习惯。看看一些标志性的里程碑：

[2] 严格地说，TD-SCDMA 标准于 1998 年向 ITU 提交，2001 年被 3GPP 接纳为 3G 标准。





1964 年美国 Rand 公司 Baran 提出无连接操作寻址技术，目的是在战争残存的通信网中，不考虑时延限制，尽可能可靠地传递数据报。

1969 年美军 ARPAnet 问世。

1979 年发明局域网（中国恢复高考第一年）。

1983 年 TCP/IP 成为 ARPAnet 的唯一正式协议，伯克利大学提出内含 TCP/IP 的 UNIX 软件协议。

1989 年原子能研究组织（CERN）发明万维网（WWW）。

1991 年，美国政府决定把 Internet 主干网交给私人经营。

1996 年美国提出“下一代 Internet 计划（NGI）”（自 1996 年开始至 2008 年底，中国互联网网民数量已达 2.98 亿，手机上网用户也已接近 1.2 亿）。

新技术的探索，是随着经济的发展、各种自然基础学科的发展、人们生活方式的改变而不断深入的。既然是探索，就很难一帆风顺，许多被看好的技术惨遭淘汰，而很多不被看好的技术却异军突起。这些，老杨在本书中都将给予一定笔墨。

现在，我们就处于当代通信的时代，只要你打开你的手机、计算机、PDA、车载 GPS，就很容易体会得到。



未来通信：大融合时代

1996 年，专家们提出了全球信息基础设施总体构思方法，电信网络发展进入网络融合发展的历程。随后，以思科为代表的设备制造商推出了“统一通信”的概念，通信大融合的时代悄悄到来了！

我们可以自豪地说，未来的电信网络一定是朝着技术融合、业务融合的方向发展，并最终全面融入人类生产生活的每个角落。然而未来的通信究竟是什么样子？手机是什么样？交换机还存在吗？路由器将何时退出历史舞台？NGN 之后是什么？4G 后面还有 5G、6G 吗？先别急，看看我们老祖宗留下的警世恒言：“道可道，非常道！”规律总是有的，是可以描述的，但也是要用心去体会的。今天人类的预测能力，还远远没有达到准确预测未来的地步。那么老杨就更不敢无端猜测了。

与其盲目地预测明天，倒不如多发现一些规律来推演未来。我们知道，任何科学技术都有其“先修课”。贝尔固然伟大，但他也是站在巨人肩膀上。如果没有数学、物理学、电磁波原理、几何学、材料学、电力学等学科的长足进展，没有亚里士多德、欧几里德、阿基米德、祖冲之、伽利略、牛顿、富兰克林、瓦特等先驱科学家的不断创造（如图 1-4 所示），绝不可能有世界上第一个电话，也绝不会有通信高度发达的今天！未来的通信技术，绝对不会脱离开今天的科学技术而“横空出世”，通信技术，只是人类智慧的结晶，没有社会的进步、科技的发展，通信不可能脱离开当时的社会历史条件独立发展起来。然而，通信技术又是人类社



会发展到一定阶段的必然产物，没有通信技术的不断进步，也不会有其他学科的高速发展。沟通，是提高效率的重要保证。



图 1-4　科学演进图

未来通信将会如何，期待广大读者们来勾画！宽带、多媒体、移动、融合、统一、演进……这些关键词的任意组合，都可以造就无数让我们热血澎湃的电信业未来的图景！套用一句广告词："一切皆有可能！"



第2章 Chapter 2

用什么实现通信

当代的通信系统已经基本满足人们生产生活的需要。传送声音的，有了；传送图像的，有了；传送文件的，有了；传送视频的，有了。电话、传真、手机、计算机、互联网、电子邮件、PDA……在通信业高速发展的今天，很多手段之间的边界已经淡化，形形色色的通信终端，你中有我，我中有你。作为通信人，要学会在这种情况下清晰地剥离出它们原本的特色。虽然我们知道嫁接的水果营养可能更丰富、味道更鲜美，但是为了吃到更好的水果，我们必须学习被嫁接前这两种水果的自然特性。

人类最大的缺点就是永不满足，人类最大的优点也是永不满足，人类能够不断进步，其源动力也是永不满足。今天丰富多样的通信手段，让我们的世界绚丽多姿，让人类生活便捷而富有乐趣。而人类仍不会满足。我们可以预见，未来的通信手段将更加多姿多彩且不拘一格。当然，未来的千变万化，一定无法脱离开今天的形形色色。

我们常用什么东西进行通信？我们常常看到的、常常看不到的、昨天能看到的、今天能看到的、明天可能会看到的，老杨将给各位列举几例。我们后面谈论的所有通信技术原理、协议、规范、术语，都是为这些通信手段服务的。



电信网中的通信工具

1. 通信网第一终端——电话机

电话机是指“固定电话”，是人类目前最普遍使用的通信终端。固定电话统治全球的通信界近 100 年时间。即便是当今，全世界正在使用的电话机，应该有数十亿部之多！电话机曾经被人称为 POTS（Plain and Old Telephone System，普通老式电话系统）——这说不定是手机的发明者起的名字——普通、老式，极尽奚落之词。而普通电话却并不以为然，百年沉淀，让它深入人心，政府、企业、家庭，要彻底放弃电话机，恐怕不是短期能实现的事。我们对电话机应该再熟悉不过了吧！一根从电信机房的交换机拉过来的铜线，连接到电话机的插孔上，接头插入接口时会发出清脆的“卡嘣”声。有的固定电话还带有子母机功能，母机带有发射装置，可以带多部无线子机，在距离几十米以内，子机可以像手机一样拿在手里，并在移动中通话。这就是无绳电话，它是一种利用无线信号将固定电话扩展，从而实现家庭内的“移动电话”。爱刨



根问底的读者就会问了：老杨啊，母机那个微型基站，功率再大一些，覆盖面积再广一些，那是不是就变成小灵通了？老杨在这里卖个关子，我们在第 13 章再做介绍吧！

电话机是将声音和电磁信号互相转换的最常用的工具。别小看电话机，人类自从有了文字，经历几千年才发明了电话。电话机的各个模块（如图 2-1 所示）都体现了人类的智慧。无论从电子学、通信学还是机械学，电话机都是人类的经典发明！

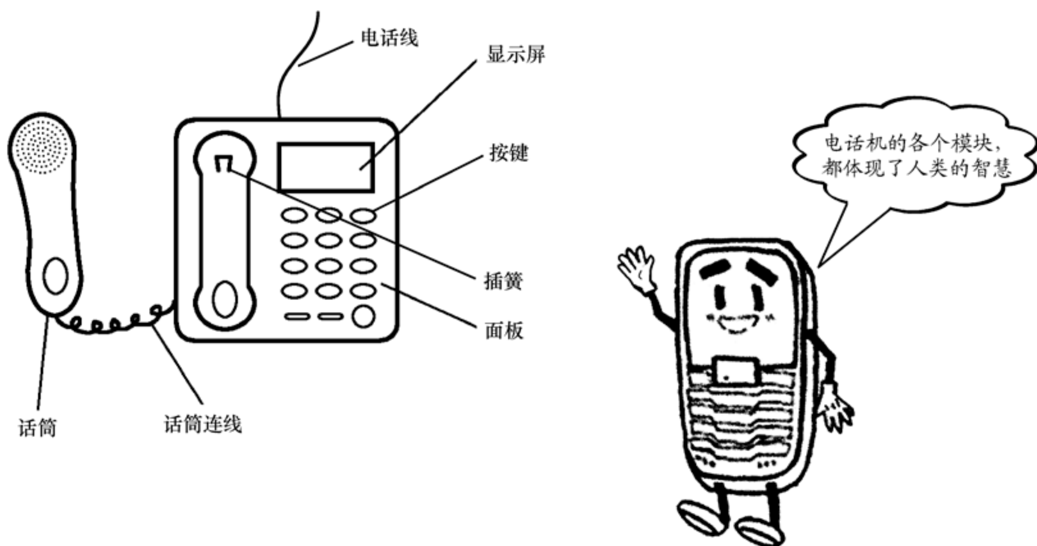


图 2-1　电话机和它的各个组成部分

2. 传真，不可或缺的通信配角

传真最有价值的地方在于能够将印章、签名通过网络传送到对端。传真件在绝大部分国家的法律上是具有效力的。自诞生之日起，传真在通信行业中的地位始终是配角，电话盛行的时代，传真终端数量远远小于电话数量，但它仍是不可或缺的通信手段。政府机关、商业企业，都会购买一台传真机用于重要文件的传送。传真通信是现代图像通信的重要组成部分，它是目前采用公众电话网传送并记录图文真迹的唯一方法。

传统的传真终端是传真机，两台传真机分别连接到电话交换网上，通过拨打对方的电话号码，就可以相互收发传真了。现在，越来越多的人通过互联网发送传真，有的根本不用传真机，而是用计算机上的传真软件收发传真。

传真机的发明构思形成在 160 多年前。1843 年，英国人亚历山大·贝恩（Alexander Bain）就申请了传真机的专利，它比电话专利整整早了 30 年！但是直到 1925 年才由美国贝尔实验室利用电子管和光电管制造成世界上第一台传真机，使传真技术进入到实用阶段。而传真业务大量应用，则是近 20 多年的事情。

我们来看看传真机的工作过程。首先将需要传真的文件通过光电扫描技术将图像、文字转化为一种称为“霍夫曼编码”的数字信号，经调制后转成音频信号，通过电话线进行传送。



接收方的传真机接到信号后，会将信号复原然后打印出来，这样，接收方就会收到一份原发送文件的复印件（如图 2-2 所示）。

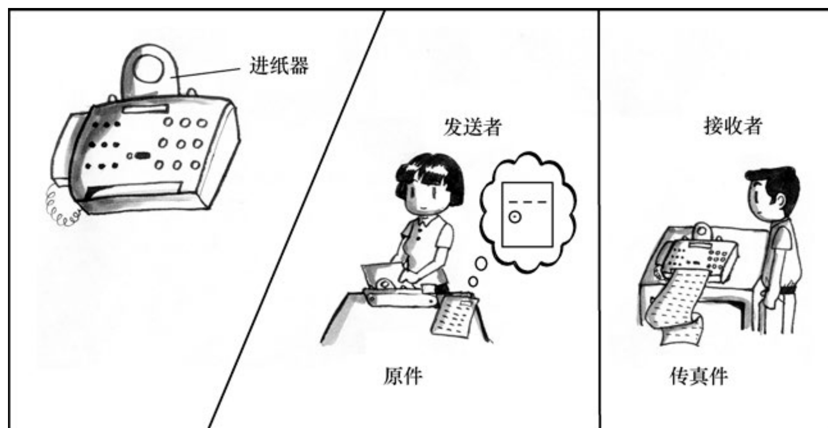


图 2-2　传真机的应用

3. 时尚先锋——手机

手机，严格地说应该叫做“个人手持移动终端”，这是学名，学习才用的名，生活中千万别这么叫，否则会被别人笑话。

手机类型众多，根据它们的技术标准不同，GSM、CDMA、小灵通、大灵通、Wi-Fi、TD-SCDMA 手机等，都属于手机范畴。有的移动终端并不用来通话，比如 GPRS 或者 CDMA1.X 等无线移动上网卡，我们不能将其称为“手机”。

对中国人来说，手机最常用的功能是打电话和发短信。手机短信的火爆应用是具有中国特色的。无论是春节拜年，还是重大活动，短信的应用已经占据中国人相当大的个人通信份额。本来是移动通信的一个附属业务，现在却蓬勃发展，这和中国人性格上含蓄、节俭和讲礼仪是分不开的。

技术是一方面，用户应用还和风土人情、人群个性有密切关系。

Wi-Fi 手机目前还没有做到很流行的地步。其实，国外进口的很多品牌手机，本来是有 Wi-Fi 功能的，自 2005 年起，绝大部分手机都带有此功能，但是在手机入网后，这些功能都被强制禁止掉了，原因是可能会与 GSM 竞争——运营商会花很大的精力避免自己左手打右手。这就是为什么大量水货手机支持 Wi-Fi，而行货普遍不支持。

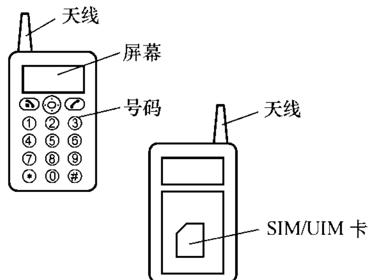


图 2-3　手机的组成部件

所有的通信技术和手段都在融合，手机也不例外。传统手机厂家制造的常规意义上的“手机”（如图 2-3 所示），越来越多地学习 PDA——无论界面上，还是功能上，比如在手机软件中内置了大量游戏、应用工具，而有的甚至可以运行 Office 软件；而 PDA 厂家则在 PDA 中内置 Wi-Fi 功能或者可以插入 SIM 卡，使之可以拨打电话。目前手

机正在逐渐与视频业务结合，随着3G时代的到来，手机上视频点播、看电视已经实现并逐步走入千家万户。

4. 寻呼——大盛大衰的落魄平民

“手机、呼机、商务通，一个都不能少”，这是前些年非常流行的广告语。在10年前，拥有一台寻呼机是很多人的梦想。呼机在身边不断响起的声音清脆而震撼，因此人们根据这个声音给呼机起了个别名，叫做“BP机”。“请您速回电话”，是那个时代寻呼机收到的最多的内容了；“呼我”，是那个时代最流行的广告语。随着手机的普及以及用户对短信的大量使用，寻呼迅速退出了通信业主流市场，全国成千上万家寻呼公司一转眼烟消云散。寻呼由于距离大家的生活越来越遥远，这里老杨就不再多讲，取而代之的是刚才已经讲过的短信。

5. 电报——永不消逝的电波

想起20世纪80年代初的电视广告，经常会看见“该厂生产的**牌***，质量可靠，实行三包，电话：12345，电报挂号：0123。”

电报挂号!20世纪80年代前的人恐怕对这个词都不会太陌生。这是百年来通信常青树——电报业务——的地址码。对于时间敏感型通信要求而言，在电话不够发达、互联网还在实验室里的年代，电报是企业之间、个人和家庭之间的极为重要的通信手段。电报的实时性比较强，这边发出去立刻抵达对方，比信函速度快很多。电报是按字收费的，于是人们就尽量节省字数从而节约费用。（就有这么一个小故事，出差在外的老公发电报问妻子，“知道我行李箱的密码吗”，妻子回答，“知道”。笑话归笑话，但也反映出人们在电报内容上惜字如金的情形。比较一下现在通过电子邮件发消息的长篇大论，今天的人们是多么幸福啊!）

当然，随着电话的迅速普及，互联网的高速发展，新的通信工具逐步取代了电报。现在，只有在战争中，或者在节日期间对远方亲友问候的时候，才会动用电报。看CCTV的春节联欢晚会，主持人向观众宣布，“某某集团”、“某某部队”、“某某大使馆”发来贺电，相当一部分都是采用电报的形式。

在未来，电报是否能真的成为通信业“永不消逝的电波”（如图2-4所示），那就要看它自身的造化了。



图2-4　电报，永不消逝的电波





互联网的通信手段

互联网是近十几年高速发展起来的通信手段。互联网的终端正在迅速扩展，除了最常用的电脑之外，利用手机、无线上网卡（比如 Wi-Fi 或者上文提到的无线移动上网卡）、PDA 等移动终端接入互联网的情况也越来越普遍。将来，很多家用电器也都会接入到互联网上。而目前，只能说互联网还暂处于初级阶段，大家平时上网所使用的万维网（WWW，World Wide Web）是最基础的应用，在互联网上衍生的各种应用，如电子邮件、网络电话、网络传真、即时通信（IM，Instant Message）、网上购物、电子商务、网络游戏、网络聊天、博客等，都是基于互联网通信手段的（如图 2-5 所示）。就连千百年来人们读书的习惯，都发生了巨大的变化。有专家形象地说："过去人们习惯在文字的海洋潜水，现在则在奔腾的信息海洋上冲浪！"



图 2-5　互联网——MSN、QQ、Blog、E-mail、淘宝……

互联网正在彻底改变着人们的生活。电子邮件逐步代替了普通信函，网络新闻对传统的报刊发行量造成了很大影响，日记变成了博客，书本被 eBook 取代……当然，网络对一些青少年太有吸引了，以致于把过去玩沙包踢毽子的时间挤出来用于网络游戏和 QQ 聊天，这都是不争的事实。

很多人说互联网是潘多拉的盒子，打开的未必都是好事。那么如何管理互联网内容，如何让互联网向看对人类有利的方向发展，将是未来互联网研究的重要课题之一。

接下来让我们看看互联网通信的常用工具。

1. 计算机——最伟大的生产工具

技术的融合已经说不清很多东西。计算机是什么？仿佛每个人都可以指着自己的计算机

说，就是它。但是要给计算机这个名词做一个极准确的定义，却很不容易。从字面意思上讲，能运算的机器就是计算机，那么，游戏机、计算器、数控机床、带有智能的家用电器，都是计算机——这只是广义的"计算机"。本节所说的"计算机"是一般意义上大家理解的狭义的"计算机"，带有 Intel 或者 AMD 的 CPU，带有内存、硬盘，安装操作系统和应用软件的计算机。它可能以台式机的形式存在，也可能是笔记本、上网本，还有可能是服务器或者工控机。

计算机是人类发明的最伟大的生产工具。

计算机在通信网络中用于接入互联网，它所涉足的通信方式非常多。如 WWW、电子邮件、网络传真、即时通信、网络电话（如软电话）、办公自动化、呼叫中心、电子商务等等。最为明显的例子，互联网信息，都是在计算机中进行存储的。

计算机的 CPU 是核心处理部件，一块网卡（或者无线网卡）是通信的必备武器，一个硬盘或者光盘是其存储媒介（如图 2-6 所示）。鉴于大家都熟悉计算机，我们就不多讲，但还是要注意，它是个很宽泛的词，有时候你分不清一部 PDA 或手机和一台计算机的区别，在未来的某一天，这些差异也许会完全消失。

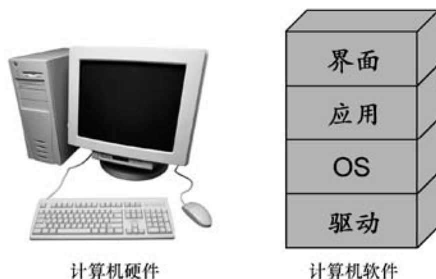


图 2-6　计算机的组成

在通信技术里面，尤其是电信设备里面，计算机可能以很多形式出现，比如一块板卡，你可能根本看不出来，但是它的确是一台计算机，因为它也有 CPU、内存，可能还有硬盘或者 Flash 存储设备，也许没有声卡显卡和显示器，但是你不能否认它具有很强的运算功能，甚至软硬件的设计架构都与普通 PC 一模一样。

与"狭义的"计算机系统相对应的，是一种被称为"嵌入式系统"的东西。嵌入式系统绝大部分也有 CPU、存储设备（如硬盘或者 Flash）等，但是其 CPU 一般采用专用的 CPU，价格与 Intel 或者 AMD 制造的 CPU 相比便宜很多（有的只有几十元），专门服务于某种特定应用，整体设备价格低廉很多。其实，嵌入式系统是一种专用的计算机系统，是广义"计算机"的一种，而我们平时所说的"计算机系统"则是通用的系统。老杨将在第 20 章向读者讲述嵌入式系统。

我国的计算机行业发展比较迅速，努力在追赶世界潮流。联想、方正、同方等企业，都已在市场中建立起自己的品牌。2005 年，联想收购 IBM 的笔记本事业部，成为全球 IT 行业的重大事件。但是，我国的计算机行业技术含量依然较低，核心的技术，如 CPU、内存等计算机主要部件都不得不依赖进口，这成阻碍中国计算机发展的主要瓶颈。

计算机软件方面，我国也处于较弱势的地位，除了杀毒软件和一部分财务软件外，在办公软件、游戏、图形图像处理、监控和管理软件方面，都达不到国际先进水平，盗版影响了软件销量，使我国的计算机软件业甚至落后于我们的邻邦——印度。应该说，在这方面，中国依然有很长的路要走。结合通信领域，目前我国自主知识产权的通用软件非常匮乏，绝大



部分通信软件都是专用定制的软件，如电信 BOSS 系统等。

2. 电子邮件——逐步取代普通信函

电子邮件，不知道这个词在名词分阴阳性的语言里，是否属于阴性，因为年轻人喜欢把它叫做“伊妹儿”，“她”是企业办公自动化最基础的应用，也是个人用户最青睐的互联网应用之一。这个“妹儿”出现后，纸介质的信函受到很大冲击（如图 2-7 所示）。编辑方便、传送速度快、无纸化、成本低是电子邮件相比于纸介质邮件最大的特点，是她最惹人喜爱的地方。



图 2-7　电子邮件正迅速替代过去的信件

要实现电子邮件功能，每个人都需要拥有一个邮件账号，或者叫做“邮箱地址”，形式为 name@domain.xxx，name 为个人的姓名标识，domain 为域标识，对企业而言是企业的公司名称，如 mike@microsoft.com；对 ICP 而言是 ICP 的名称，如 abc@263.net；xxx 是组织或者企业，如 net、com、org 等。电子邮箱有一定的磁盘存储空间。我们知道，虽然叫做“邮箱账号”，实际上并不存在这么一个“箱子”，但是通过电子邮件地址，可以精确地把信息传送到希望的接收者。电子邮件有单发、群发等功能，由于几乎没有传递成本（除了宽带费用以外不需要邮筒和邮差），于是也变成了广告推销、信息发布的上选平台，全世界 30%的邮件都是企业或个人群发的广告邮件，其中的绝大部分我们不得不称为“垃圾邮件”。

3. 即时通信——时尚年代的通信新贵

自 ICQ 开始，网络上流行着诸如 MSN、QQ、Skype、淘宝旺旺之类的软件，客户需要下载该软件，并注册一个账号。每种即时通信软件采用的注册方式不同，有的采用邮箱名称（如 MSN），有的采用数字（如 QQ）。登录到网络中以后，可以添加好友，和好友文本聊天，有的还可以视频聊天、群聊、发送文件等。这些软件有一个很专业的名称——即时通信。

现在常用的即时通信软件，还带有其他信息频道，如游戏、购物、广告等。

MSN 是美国微软公司（Microsoft）提供的。MSN 现在更名为 Windows LiveMessager，以

其界面规范、严肃，非授权不可加为好友等特点，受到大量白领的青睐。

QQ 是中国的腾讯公司提供的，前身是 OICQ，在美国版的 ICQ 前面加了一个字母“O”。最早叫 OICQ 的意思是：Oh，I Seek You！（哦，我找你！）QQ 是全球用户数最多的即时通信软件。

除了个人属性的 IM，近年来还出现了一些企业属性的 IM，比如 TQ 等，它们是为企业与客户的沟通服务的。这两者的区别是，前者的聊天记录是个人隐私，而后者则是企业可查询的属于企业所有的公开信息。



专业领域的通信工具

1. 对讲机——我来自行业

对讲机是用途很广的专用通信工具。说其“专用”，是因为其客户群全部是政府机构或大企业的专用系统，如公安、保安、公路、石油开采、工厂调度等。很多车友会也采用对讲机来相互联系。

对讲机的使用主要是一对多的通话，选择群组很方便，一个地方有情况，只要一个人通过对讲机发布出去，其他的人都可以听到，这样便于快速地开展工作。只要把一个群组使用的机器调整为一个频率就可以了。

对讲机的工作方式比手机略微复杂，不按住“通话”键时只能听，要说话时按住“通话”键，同一个群组的人都能听到。对讲机也可以单独通话，但必须两人约定转换同一个频率。对讲机的缺点是通话内容不够安全，在一定的范围内，只要有另一个频率相同的对讲机，就可以听到通话内容。

新的移动通信中有一个 PTT（Push To Talk，一键通）功能，使手机能够实现对讲机的功能，在第 13 章会专门介绍。

2. 视频通信——沟通看得见

视频通信是用可见的方式进行远程通信。一根网线，一个屏幕，一个摄像头，齐活啦！今天，视频通信系统已经广泛地使用在各个行业中——会议、娱乐、监控、医疗、教育，从 QQ 上的视频对聊，到高分辨率大型视频会议系统，都可以归为“视频通信”。

自远古以来，人们就有随时能看到对方的冲动。“我住长江头，君住长江尾，日日思君不见君，共饮长江水”，这古人思念的哀怨，引发了人类不懈的努力。人们从发明照相机开始，就知道可以将自然景观和图像存储下来；贝尔发明了电话开始，人们就知道可以把声音从天涯发送到海角；接着，人们又将看到的图像通过如照相机一类的镜头，经过数学家创造的处理算法后，经过物理学家研究的导线传送到对端，并在显示器上显现出来。你在长江头莞尔一笑，长江尾的张三冲你点头招手，古人的梦想，在现代人的智慧面前成为现实！利用视频通信，你很难再有“一日不见，如隔三秋”的惆怅，很难再有“士隔三日，当刮目相看”的必要。有了视频通信，地球就真的成了同一个“村落”，天涯和海角的距离，恐怕也只能用带宽来测量了。





在电力、石油、仓库、机房、社区、道路，随处可以请一个“千里眼”帮人视察机器、库存、管道、车辆、访客的一举一动，这些“千里眼”把看到景物的通过通信网传送到服务器、磁盘、屏幕，最终射入监视者的眼帘，它是忠实的看门人。这叫“视频监控”。

在教室里、讲桌前，摄像头和电视大屏幕分别对着教授、讲师、学生，教授的答疑解惑，讲师的谆谆教导，学生的好奇提问，相映成趣。这叫“远程教学”。

在办公室，摄像头对着老板、经理、员工、客户、合作伙伴，老板的发号施令，员工的紧张述职，客户的疑惑，合作伙伴的建议，都被对方尽收眼底。这叫“视频会议”。

在医院、病房、诊所，摄像头对着病患和 CT、屏幕对着专家和医生，专家和医生们共同会诊、反复论证，而病患则在千里之外。这叫“远程医疗”。

在你家里的写字台上，摄像头对着你，你在北京，你的朋友在遥远的纽约、巴黎或者佛罗伦萨、夏威夷或者世界任何一个角落，他在那边冲你哈哈大笑，还是那个童年的伙伴，还是那么意气风发！这叫“视频聊天”。

视频通信种种，如图 2-8 所示。

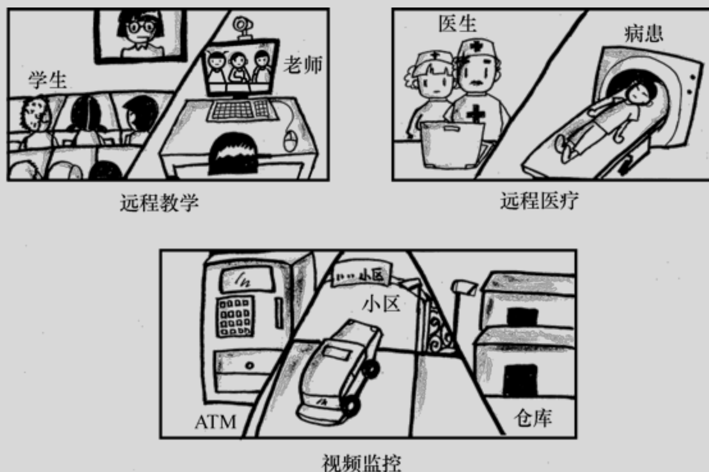


图 2-8　视频通信图例

这就是视频通信，是当今社会重要的通信手段。安防行业、远程教育行业，视频通信都是重要的技术基础。“沟通看得见”，不仅仅完成的是人类长久以来的夙愿，更是人类提高自身改造自然界速度的重大突破！



家电中的通信工具

1. 特殊的单向通信工具——电视机

如果说电视机是通信终端，通信行业的人总是不太情愿，广电行业的人也总是不冷不热。其实，我们来分析一下，电视机有作为通信终端的一切必备要素——信息源、目的地、传送

线路、内容、终端、协议，历史让这本属于通信技术的事物归为专门的一类——广播电视，因内容的特殊性而造就了广电行业，而在今天技术和业务的融合、内容的共享，让广电与电信又一次重逢。这次的见面，会带来用户更多的喜悦！数字电视、利用电视传递网接入互联网、手机电视，都会在本书中提到。

10 年后传统电视机是啥样，老杨也不敢瞎说，但是今天我们所说的传统电视机都摆放在家里，用天线或者有线电视线缆来接收电视信号。对于有线电视而言，在广播电视线路中传送的信号通过不同的频率（信道）传送到电视机接收器上，于是，电视机有专门的频率选择器来选择接收不同的频率，也就是我们常说的“频道”。

广播电视线路经过双向改造，安装一个机顶盒、电缆调制解调器（Cable Modem），就可以实现从用户端到信息源端的其他信息的传递。比如你通过电视机顶盒发一个信号给信息源，信息源将你的信号接收并向你回送一段视频。你可以根据自己的喜好选择喜欢的电影和音乐，这就是我们常听到的 VOD（Video On Demand）。

2. 未来的信息家电

本节留给那些正为人类生活不断创造惊喜的科学家们去扩展。热爱思考的读者也可以展开联想：冰箱、空调、微波炉、汽车、音响、煤气灶，都可以成为通信的手段，它们内置通信芯片或者模块，通过有线或者无线或者电源线（电力猫，通过电源线传递信号，第 14 章会有讲解）与目前的任何通信网络连接，实现远程控制、监控家用电器的目的（如图 2-9 所示）。它们都有一个很酷的名字——“信息家电”!

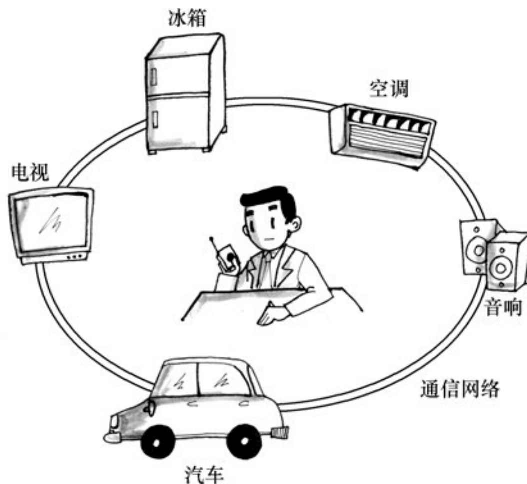
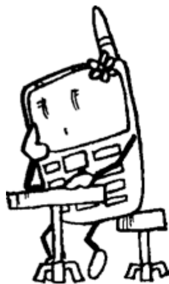


图 2-9　未来家电的通信化——信息家电



第3章

Chapter 3

通信到底是干嘛的

当我们在互联网上享受冲浪的乐趣，或者夜半时分抱着电话和密友煲电话粥，你可曾想过，你正在进行的通信过程有多复杂？我们先看看和通信技术有关的英文字母组合吧！通信行业中大量术语都采用字母和数字的组合，它们简化了协议或者技术的称谓，但也让初学者陷入迷茫之中。IP、TDM、GSM、ATM、VoIP、RFC、T.38、H.323、PLMN、QoS、SDH、V5、V.35、E1、PCM、MMS、WiMax、TD-SCDMA、WAPI、DWDM、PSTN、OSS……很多人之所以害怕学习通信技术，从某种角度来说，就是被这些貌似简单却又极易混淆的术语吓怕了（如图 3-1 所示）！这些字母数字组合的泛滥，常常违背了其容易记忆的初衷。

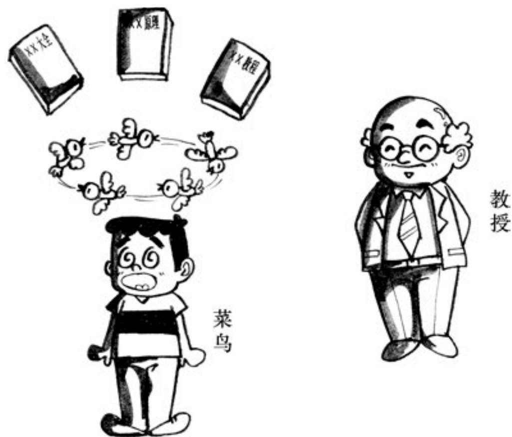


图 3-1　被大量术语搞晕的菜鸟

这个难题如何解决呢？如果掌握一些学习的基本方法，把通信的名词、术语、概念、定义、推论等有机地“串”起来，其结果就未必再让你头痛了。所有的困难就怕“方法”二字，学习通信知识也不例外。

通信技术有其自身的规律，是前人在了解世界、认识世界和改造世界的过程中逐渐成熟起来的一门实用性技术。老杨一直认为，任何人在初学通信技术的时候，都应该先放下任何已经听到的各种专业词汇，把自己变成只看得懂报纸、只了解基本生活常识的人。然后，我们按照事物的基本发展轨迹来分析：**通信技术要做什么？能解决什么问题？如何解决这些问题？解决了这些问题以后还会出现什么新问题？**逐次追问，不断探求，才能让信息交互起来，最终做到融会贯通。知识不是一摊泥，而应该是一串糖葫芦。梳理好基本的知识架构，再去理解日新月异的通信技术，就会水到渠成、事半功倍。

专家是什么？专家与普通人相比，未必有什么特殊的才能，只是他们比别人考虑问题更仔细、更透彻，把别人忽略的东西拿起来当宝贝，利用别人喝咖啡的时间来研究人们习以为

常的东西，于是他们成功了。科技是什么？这很难用一个定义来说明，但科学技术中任何一个推理过程都是严谨的，当然，也是富有想象力的。它们都是脚踏实地、符合人类思维方式、可以被引用并被反复论证的。在科学的征途中，永远没有“水变油”的神话。

上面的描述有助于你建立信心、也建立方法去学习通信知识，用常规思维去分析和思考任何你见到的外表冷漠、内心火热的所有科学规律，你会快速获得对自己有用的知识并可以举一反三。老杨不会白说这么多题外话，希望你从中受益。

下面言归正传。

通信既然是要把信息通过某种方式传递给对方，那么不可避免要研究以下几个问题：用什么方式传递给对方？如何找到对方？有没有信息传递的额外要求，比如安全、快捷、节约？那么，我们对通信进行研究的几个问题就是：

首先，用什么信息格式传递给对方——编码问题。研究类似人类“语言学”的问题，用什么样的表达方式“表述”信息。

其次，如何找到对方——寻址问题。研究类似门牌号码规划、寻找道路等问题。

最后，信息传递的额外要求，如安全、快捷等——优化问题。研究加密、节省成本、提高效率、增强管理、方便运营等问题。

下面将分别讨论。



第 1 个问题：用什么信息格式传递给对方——编码

我们从最基本的语音通信开始讲什么是“编码”。形容某地比较贫穷，“交通基本靠走，治安基本靠狗，通信基本靠吼”——这段极具戏谑色彩的文字，却道出了没有现代化工具，社会生活的真实状况。两个人说话，没有现代化通信手段，该怎么做？就是那句话——“通信基本靠吼”，在这一方面，老杨只能说，生理学会给你满意的解释。

现代社会中两个人说话，方法就多了。除了“吼”之外，人类还发明了麦克风、扩音喇叭等工具，借助于它们将音量放大，那是物理学、声学的范畴。我们单说两个人远距离通话，也就是两人“吼”不到的地方，用麦克风和扩音喇叭也传递不到的地方，怎么做呢？首先，你要解决传送问题。这么远的距离，用电磁信号传送是个好的选择，（当然，科学的解释是，这是目前主流的选择，即使你非要用录音机录制到磁带上并通过特快专递传送到目的地，也是需要采用电磁技术来做存储吧？）电信号在金属介质上传送最好，而你总不能用一根钢管来传送吧？那样投入太大且很不实际。我们需要用合适的铜丝来解决电磁信号的传送。那么如何把一个人的语音变成电磁信号呢？抛开一切你知道的东西，我们从头开始想象——在信息的源头，需要一个盒子，这个盒子里有能够把人的说话声音变成电磁信号的装置，并且有一个出口，以防止其成为“孤岛”；而在信息目的地，放另外一个盒子，这个盒子里有能够把电磁信号还原成人声音的装置。考虑信息双向传递，也就是“你说给我听，我说给你听”，那么两边的盒子各自都应带有声音和电磁信号互相转换的装置。如果你生活在 18 世纪或者更早，你会给这个盒子起什



么名字呢？很不幸，你生活在 21 世纪，已经失去了对此盒子的命名权，因为这个盒子就叫做“电话机”!

前面我们讲过，“通信”，也就是“电信”，是用电磁信号传送媒体情报信息，那么通信第一个要解决的问题是，如何把声音、图像、文本等变成电磁信号，如何把这么一系列的电磁信号有效传送到对方，又如何在对端还原为声音、图像和文本。对于语音通信，从这个电话机开始，信息开始进入“编码之旅”，声音信息通过整个通信网，它被数次变换编码样式，最终成功到达彼岸。就像人的出行，坐火车也好，坐飞机也罢，坐船也是有可能，其间还不可避免要走几步路，最终到达目的地。而通信中每一种编码，都必须有非常严格、规范的定义，都要考虑诸多因素。本书中的若干章节，我们都会提到与编码有关的技术，而本节，只探讨编码技术的总体概念。

我们把编码问题用货物运输的例子来做类比。“编码”过程就像是将货物拆分和打包，以利于货物通过交通工具和轨道安全运输的过程。

货物根据体型、重量、客户要求的到货时间、价格等因素考虑，需要用火车、飞机、汽车还是轮船来运输？有些命题更加复杂，比如货物要运送到一个地方，必须经过陆路和水路，那么采取何种方式的组合才是最佳的运输路径？

一件形状复杂的货物，你可以把它拆成若干份，货物到达目的地以后，是不是还要考虑组装？别指望组装的人对这个货物很了解，你只有把每个部件做好编号，两个货栈协商好拆包、组装规则（也许是一张图纸），才能把货物拆散、打包；同时，你要考虑通过哪种合适的交通工具在特定的轨道上传输？是不是要考虑在外包装上标注“轻放”、“向上”、“防潮”？到达目的地后还要检查是否所有的货物的所有部件都已经安全到达。若没有安全到达，你还要考虑，如何花最小的代价重新发送一个新的部件？

任何选择都是适应需求的，“绝对适合”任何场景和需求的选择是不存在的。任何编码都是为了适应不同的传送需求，这一点和货运的例子如出一辙。

飞机是迄今为止人类最快捷的交通工具，但其运输成本也是最高的，如果运输货物从北京到天津，你大可不必用飞机来“摆谱”；轮船是大宗货物的上佳选择，但要运输新鲜瓜果蔬菜的话，你千万不要指望它，希望在船上腌酱菜除外。再比如，有的货物运输要求实时性很高，而体积较大，那么你就要考虑如何把货物拆得大小得体，并通过较快的运输工具和轨道进行运输。太大的包会需要很大的车（如火车和卡车，如果有水路，还需要考虑轮船航运），而很大的交通工具，其运送时间会较长；拆分后的包如果很大，丢失一个包造成的影响将会很大；而太小的包又会增加你的打包时间，并且会增加额外的开销（比如要考虑货物打包后的外包装，既占用体积又增加重量，可能还要多印刷几个“轻放”之类的标签呢），另外，包多了以后，车数量也要增多，你又需要增加人手来开车和押运，所有成本都会不同程度地增加。除此之外，有的包丢失一个两个没有关系，就像公路上运输煤，丢一包煤，并不会影响其他煤的使用（如图 3-2 所示）；而有的货物，比如运送一台数控机床，一旦拆开，必须保证每个部件都送达对方，少一个包（就是少若干部件），

会造成整台机床无法使用。总之，货物需要根据自身特点打包，然后选择合适的交通工具运输。

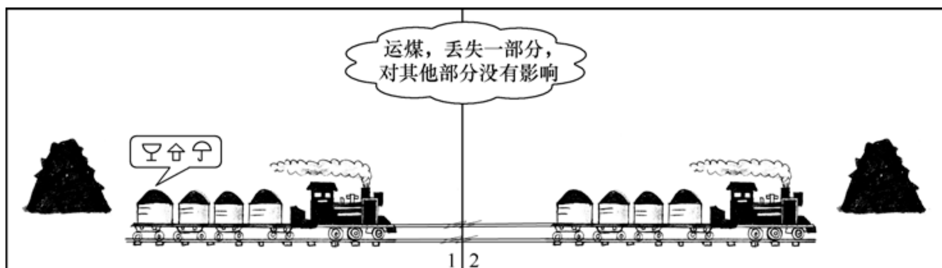


图 3-2　交通运输的拆包合包示例

当然，通信和货运还是有很大区别的。货物和汽车，绝对不会有人把这两者弄混，用肉眼就能区别出来。而通信中，传送的信息和承载这些信息的额外“包装”是组合在一起的，要区分它们，就没这么容易。比如铜线上传送的是电压的高低，无论是信息开销（“包装”），还是信息本身，都类似于 0、1 这样的状态电压，如果不用特定的技术，你是没办法区分出来的。后面讲到的每种技术体制，以太网、IP、ATM、SDH，都有专门的技术把“信息开销”和“信息”区别开来。除此以外，通信中的信号还有一些特性是货运不具备的，那就是电磁信号的可复制性和可再生性。货运中，货物如果丢失，你只能重新购买一份相同的，因为货物无法复制和再生。而在通信网中，如果某个信号丢失，从信息源处可以很容易复制出一个一样的信号再次发送，而整个通信系统的设计，只要考虑如何侦测是否有信号丢失，若有丢失，如何通知信息源重传送该信号即可。

第 4 章将详细介绍编码问题。



第 2 个问题：如何找到对方——寻址

第 2 个要解决的问题是给任何信息的出发点和目的地做个编号，通过编号可以识别世界上任何一个出发点和目的地，并通过相关机制，使信息依照一定的路径在这两者之间传送。

要想寻址，首先得有地址，因此“寻址”的第一个课题是如何分配地址，接着才是让信号通过特定规则找到目的地地址。如何传递，那是上一节所讲的编码的事情了。

这里我们先说说什么是“地址”？电话号码、电报挂号、IP地址、邮箱账号，这些都是“地址”，各种通信手段中，应用了各种各样的通信地址，相对应地就有各种各样的寻找地址的方式。比如用信令寻址后自动建立专门的通道，比如在路由器上做好路由策略，让数据分组根据这些策略寻找到达目的地的路径，或者在出发地和目的地之间人工建立一条专门的通道等。数据网常说的“路由策略”，就是描述寻址问题的。而寻址又和地址编号有密切关系。如果地址编号合理，寻址就会快捷而准确（看，这和我们日常生活中的门牌号码多么相似！合理定义的门牌号码，有助于陌生人快速寻找到目的地）。通信的寻址问题，还包括如何在一个局部区域分配了地址之后，能够让全网知道该地址所在位置。无论是电话网，还是数据网，



都各有各的编址方法和寻址方法；移动通信中的FDMA[1]、TDMA[2]、CDMA[3]等技术体制，都有一整套完善的寻址方式。

第 5 章将详细介绍寻址问题。



第 3 个问题：信息传递的额外要求——网络优化

第 3 个问题是网络优化。人们改造世界的过程总是这样——先保证解决基本问题，再思考如何用更好的方法解决问题。网络优化，就是在基本的通信问题（如连通性）得以解决后，如何更方便、快捷、安全、经济地规划网络、建设网络、使用网络的问题。

我们先列举一个简单的例子。在两个人的语音通信中，两个人之间直接拉一根电缆就可以使二者的通信成为可能。那么如果不是简单的两个人通话，而是无数人互相通话，每两个人之间都拉一条线，现实吗？如果世界上有 10 个终端，按照某种通信协议做信息交互，为了保证任何两者之间都能互通，我们可以在任何两个人之间都建立连线，这样需要 $9 + 8 + 7 + \cdots\cdots + 1 = 10 \times 9/2 = 45$ 条连接。事实上，任何一个终端连接 10 条线是不现实的，如果是 1 亿部终端，全世界岂不都布满了电缆？更加可怕的是，每增加 1 个终端，都需要将这个终端通过 1 亿根线缆连接到已经存在的 1 亿个终端上，这样根本行不通！好，我们换一种方式：在这 10 个终端中间加一个盒子，每个终端都连接到这个盒子上，任何两个点互通，让这个盒子把这两个点的线缆连接起来，一共只需要 10 根线缆，要增加一个终端，只增加一根线缆就够了。线缆数量大幅减少，扩展难度也大幅降低！

用什么方式能让大量的人都能通话而投入的平均成本不会大幅度增加？有没有方法让很多人共用中间的传送线缆？这就是优化问题中最经典的“N 平方问题”（如图 3-3 所示）。

网络优化是通信永恒的主题。节约成本、提高安全性，是网络优化的本职工作。一种新的技术，未必非要带来客户新的体验，而通过降低成本，可能让各种新的业务迅速普及。从这一点来说，网络优化居功至伟！

从一般意义上讲，新的技术都比旧的技术更具有竞争力，用新的技术替代旧的技术，本身就是一种优化。通信技术不断推陈出新的过程，就是对原有技术不断优化的过程。

比如，早期技术只能实现一条线路给两个用户之间传递信息。后来有了复用技术[4]，多个用户线路共用一条线路，原理是将信号汇聚到某一条特定线路上传送。而复用有两种：确定复用和统计复用。这两种复用方式，分别应用于不同的业务类型，紧密结合各种业务类型的实时性、便

---

[1] FDMA，频分多址。采用频率分割的多址技术，业务信道在不同的频段分配给不同的客户。如 TACS、AMPS 系统就是应用 FDMA。

[2] TDMA，时分多址。采用时间分割的多址技术，业务信道在不同的时间切片分配给不同的客户。如 GSM、D-AMPS 等系统采用 TDMA 技术。

[3] CDMA，码分多址。采用扩频的码分多址技术。所有用户在同一时间、同一频段上，根据不同的编码获得业务信道的方式。CDMA、SCDMA、TD-SCDMA 网络采用 CDMA 技术。

[4] 这是通信技术的一个常用术语，指一条线路被多个信道共用。通信中有多种复用方式，如我们常见的 TDM（时分复用）、FDM（频分复用）、WDM（波分复用）等，在后面章节会专门介绍。

捷性、经济性的特点。当然，最终，不同的方式都是为了满足不同人群和业务类型的需求。

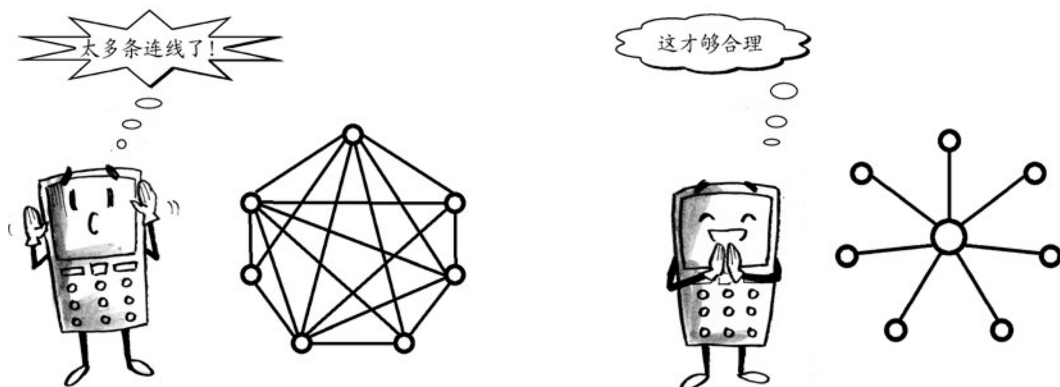


图 3-3　N 平方问题

从信息实时性角度考虑，任何终端间的信息交互都可以采用两种方式：一种是先建立一条确定的线路然后传送信息，比如全封闭的高速公路，从北京出发，只要进入京津塘高速，收费站出来就到了天津；一种是让每个信息源发出的信息包“一跳一跳（hop-hop）”向下一个网络节点迈进，即采用“存储—转发”模式，就像从天安门到鸟巢，在每个路口都需要选择是直行、左转、右转还是掉头。前一种方式组成的通信网络我们称为“面向连接”的网络，如 PSTN、帧中继、ATM、MPLS 网络等；而后一种方式组成的通信网络则是“无连接”网络，最典型的是传统 IP 网络（如图 3-4 所示）。从唯美的角度看，面向连接更让人赏心悦目，因为一切都遵循计划，按部就班，循规蹈矩。但在实际应用中，以 IP 为代表的无连接技术却占了上风。

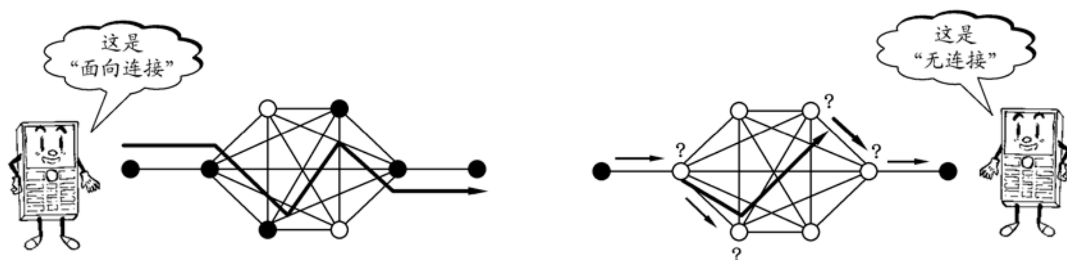


图 3-4　面向连接和无连接的对比

在社会化大生产的进程中，IP 技术更符合人们对便捷接入、区域自治、开放标准、统一接口、成本低廉、业务丰富的要求。通信发展 100 多年，无数经验教训一再证明，通信是一门实用性技术，它无法超脱于人类的生产实践，否则，无论受到多少专家的追捧，它都无法在激烈的竞争中生存下来。

网络优化的另外一个主题是安全。各种密码的暗文传送，各种带宽的灵活控制，各类信息按质量要求被分门别类并被区别对待等，这都是优化的范畴。

网络优化使社会资源大幅节省。比如在公众网络上建立专用网络的 VPN（虚拟专网）技



术。在互联网上，将几个企业的分支机构互连。如果没有 VPN，分支机构也能实现各种数据的传送，但是有了 VPN 以后，就能在公共网络上开展企业专用的数据交换，这对节省社会资源意义极其重大！



额外的一个问题——人性化

有了上述对通信基础架构——通信网的诸多问题的分析，我们是不是就可以组建一张完美的通信网了呢？要老杨说，编码也好，寻址和优化也罢，都只解决了通信业技术层面的需求。而通信的最终表现形式是业务，业务的最终表现形式是用户体验。用户体验必须以人为本，因此有人提出了**以人为本**的新的通信网理念。

通信既然是一种实用性技术，自诞生之日起就应该以人为本。任何的通信协议，最高层都是应用层，也就说，通信介质最终要和人有接口，这种接口一定要便捷、舒适，也就是“人性化”。

通信理念发展的进程，可以用这句话来表述：**前人无，我有；前人有，我优；前人优，我人性化。**“人性化”是优化问题的高级阶段。

人性化是一个很难标准化的东西。不同地区、不同年龄、不同性格的人群，对人性化的要求不完全相同，这和大量宗教、人文、风土、传统、时尚潮流等社会问题密切相关。那么通信网如何更加人性化、更容易让客户接受呢？这个问题在本书并不做详细介绍，因为这可能与通信技术本身的关系并不是十分密切，就像图书的封面设计，和文字本身如何组织的关系并不是十分密切一样。通信业务都是让用户去体验的，是一种商业行为，你很难用“斯是陋室，惟吾德馨”这样的古训来批驳用户需求。从商业的角度讲，第一，用户需求永远是没错的；第二，需求若有错，请参看第一条。

因此，“用户体验”成了无法用任何一个规范、标准去定义，但却是目前通信领域中最重要的课题之一。

通信产品外观设计，包括硬件设计（手机、电话机、路由器等的模具设计，机架线缆的梳理方式）、软件界面设计（界面外观和表单设计）等，都是人性化的具体表现形式。通信的这个额外问题，更多的是人文科学，如美工、装饰、色彩搭配等，有自然科学的成分但不全是自然科学。因此在本书中，老杨只告诉读者，而不再详细论述。



第4章

Chapter 4

说说“编码”

编码是通信的基本组成部分，是通信里面的“语文课”。从小我们就学习语文，学拼音、认识汉字、遣词造句并学写作文。没有语文，我们就无法理解基本的词语、句子的表达方式，所有自然科学和社会科学知识我们都无法掌握，前人的研究成果我们也无法去理解，我们的研究成果几乎无法传承给后人。语文是所有学科中的基础学科，而**编码则是通信专业里面的基础课程。**



开场白

几乎所有通信原理的教材，都会从香农的“信息论”开始讲起，把通信系统抽象成如图 4-1 所示的一般模型：

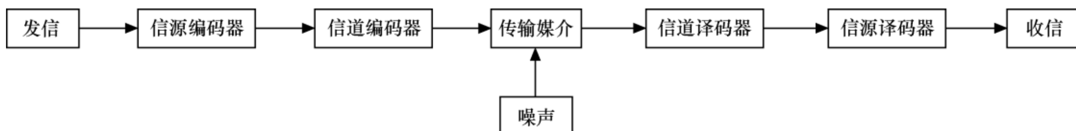


图 4-1　通信系统的一般模型

这里的“信源”，是指人、生物、机器以及自然界一切其他事物。信源编码器、信道编码器是把储存信息的“消息”变成信号的各种设施；信道译码器、信源译码器则是将信号还原为自然界信息的各种设施。这是人类对通信系统的高度总结，无论是电报、电话、电视、广播、数据通信、遥测、遥控、雷达、导航，都是该模型在各种应用的具体体现。

本章所指的“编码”问题，是更广泛范围的“编码”问题，可以归纳为“信息用什么信息格式传送到目的地”的问题的集合，包括信息论中的信源编码和信道编码过程，包括数模、模数转换、抽样、复用解复用，也包括各种数据帧、分组、信元的封装格式。

通过电话线传送人发出的声音信息，是个漫长的过程——从时间长短来说“漫长”仿佛有点言过其实，因为每个波形传递到对方一般都以“毫秒”计算，但是整个路程中的复杂程度，足以覆盖电信理论中几乎所有最基础的技术！从电话机接收人的声音，作基本的信号变换开始，通过模拟电话线传送到电信机房的交换机，经过一系列转换、传输、交换后到达其



目的地，把编码信号再做相反的变换，再送到另外一部电话机使之还原成为声音，通过空气传送到接收人的耳朵里。

我们可以想象，用一根 1km 长的金属线伸直铺在间隔 1km 的两个房子之间，你能对着一端说话，指望对端有人能听到吗？从生活常识来看，金属线不是“听诊器”，上述情况，声音本身根本无法通过这种“传导”方式传递。

再来看看另外一个问题，你研究过计算机录音吗？不管录成什么格式，MP3 也好，AVI 也好，WAV 也好，都是数字格式的文件，而声音本身是“模拟”的、连续的，这就要用到“模数转换（A/D）”的技术。把模拟信号通过某种方式变成数字信号，到了接收端再转换成模拟信号，这并不是通信行业的专利，但是却很大程度上影响了现代通信的发展历程，成就了通信领域的重大进步。

“模拟信号”和“数字信号”，所有初学者都会遇到这样的术语。用形象的比喻有助于我们更快速地理解。我们一般形容一个东西很大，说它“非常大”，不难让别人接受，因为你形容它的时候加入了个人感情，写散文、小说，这类口语化语言会更受欢迎。但是假如这句话在人群中传来传去，一定会变味儿的。因为“非常大”无法精准表述到底有多大，转述的人很可能把意思理解错，造成混乱，以讹传讹的情况发生概率也会很高。如何让信息在人群中精确传送呢？一般情况下，我们应该说这个东西有几平方米大，或者说比同类东西大几倍，这个精确的数字不容易传错。数字的东西，更精确，更便于传播，也更便于存储和分析。

我们应该知道，任何一种通信编码都不是凭空定义的，都是为了更好地在网络上传送信号。而每种原始信号的情况又千差万别：人发出的声音、计算机保存的文档、大自然的景色，这些信息本身都有特点，对传送的要求也不完全相同，如实时性、准确度、信息量的大小、压缩的可能性等，它们决定了网络技术体制、网络拓扑结构、带宽等的规划和设计。这都造成了编码形式的多样性。

那么我们就来说说各种编码及其转换。



从声音到模拟信号

声音是自然界最美妙的事物之一。很难想象没有声音，自然界是何种景象。

语音通信中第一个要解决的问题就是如何把声音变成电信号。很早以前，人们就希望把声音保留下来，古人早就有“余音绕梁三日而不绝”的美好愿望，然而这种“绕梁三日”只能是梦想、幻想和空想。在录音机发明之前，人类曾不断试图使用各种方法来达成这个美好愿望。19 世纪，人们开始尝试用机器记录振动来记录声音。随着录音机、点唱机、电视机等的发明，人类实现了梦寐以求的“人机交互”。接着，永远不满足现状的人们又有了新的需求：将信息实时地与别人分享。如何来达到这个目的呢？贝尔解决了这个问题，他发明了碳粒电话机。

当然我们现在不会再使用碳粒话筒了。但当前无论如何高级、如何先进、如何昂贵

的电话，也都是碳粒电话原理——把话筒内振膜的振动转化成强弱不同的电流——的变形。而这个电流信号，就是我们所说的“模拟”信号。它和振膜的振动规律是完全一致的。

“模拟”是 analog 的翻译名，它不属于中国人的思维模式内的东西，以后我们可能还要碰到很多这样的概念和名称，你不能用中国文化里的东西去理解它，就像外国人很难理解什么叫“道”，什么叫“太极”一样。

在物理学上，语音是一种声波，它是由人的声带生理运动所产生的。声波的传播就像水波的扩张。空气压力的影响有点类似于水波起伏，气压在某一平均值上下波动，就像水波高低起伏。能震动的物体，都能发出声音，而几乎所有的物体都能震动。人耳感受到的音量与压力震动的振幅有关。震动越大，声音越强。同时，声音还与频率有关，频率变化越大，声音越尖锐，能量越大。女性的声音频率较高，因此声音比较尖；而男性则相反，如图 4-2 所示。



图 4-2　女歌唱家和男歌唱家声音频率有所不同

人的耳朵能听到的声音频率范围是 20Hz～20kHz，如图 4-3 所示。而实际上，人们只需要 3.4kHz 电周期的可用和可理解信息，这也是电话线路的语音信号带宽。当然，对人耳可分辨的范围，频率的提高意味着质量的提高，如普通声道的带宽是 11kHz，立体声的带宽是 22kHz，高保真立体声的带宽是 44kHz。当然，带宽越大，对传递信号的介质要求越高。经济学理论告诉我们，实现的代价越大，需要的一般人类劳动也越多，价值也就越高，很可能价格也会越高。这可能就是高保真立体声音响价值不菲的原因所在吧！

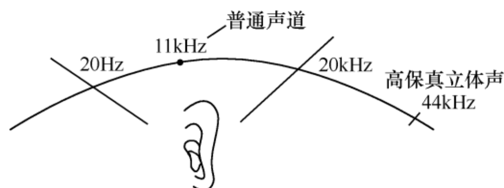


图 4-3　耳朵听到的声音的分辨率



让我们看看声音是如何转化为电话系统能够接受的模拟信号吧。一般来讲，这个转换设备就是我们最常使用的通信设备——电话机。

贝尔发明的碳粒电话机，是基于振膜对碳粒造成忽紧忽松的压力引起其电阻的大小变化，我们学过的最简单的电路公式，电流=电压/电阻，在电阻变化而电压不变的情况下，电流就会发生线性变化。忽大忽小的电流，就是我们未来要讲述的希望传输到世界上任何角落的电话信号。我们先假设电话信号已经传到对方的听筒。听筒内有一电磁铁随电流大小而磁性不同，它对埋有金属丝的薄膜时吸时放，薄膜便发出了人说话的声音。

了解了声音与模拟信号之间是如何转换的，我们即将进入真正的通信领域。就好比一部电影，你看到了开头和结局，现在问题是中间过程将如何发展。讨论这个问题非常重要，假设你是一名编剧，你该如何设计引人入胜的剧情？

除了语音，现实世界中还有很多原始信息，比如图像、文稿等。我们把语音、声音、图像、文稿等自然界的信息叫做“原始数据”，那么从专业通信的角度来分析，要想把这些原始数据通过网络传送，必须将原始数据“表示”或者说“转换”为电磁信号。

如果是可见的东西，转换过程比较好理解。比如文稿，可以通过计算机 I/O 系统输入，使用键盘、鼠标、手写板等输入工具将其转换为计算机的“文本”；而图像，可以通过照相机拍照、人工手绘并扫描等方式转换为计算机的“图像”。而声音呢？它是人们看不到的东西，怎么“表示”或者“转换”？还好，人们发现声音是波的一种，而对于波来说，有两种主要的转换方式：以信号的原始频率[1]表示或以另一种频率表示。例如，当我们拿起电话机并对着它说话，电话网络以“原始值（Base Value）”（在 300Hz～3 400Hz 范围的某处）接收模拟话音信号。另一种方式是，电话网络可以将我们的信号与另一频率更高的信号（称为“载波”）结合，然后在不同的频率上传输这些合成的信号。载波是工作在预先定义的单一频率的连续信号。改变载波以便它能以适合传输的形式表示数据，就是我们常说的调制（Modulation）。在模拟调制中，表示数据的模拟信号被转换成另一模拟信号，后者就是已调载波。如果你觉得“调制”这个词过于复杂，那么不妨回忆一下你上网一般用什么东西？对！Modem，我们俗称为“猫”，因为 Modem 发音的第一个音节是“mao”（人类是乐观而富有创意的，很多动物都被赋予了 IT 的意义，猫，用作调制解调器，当然只有中国人才这么叫；狗，用作正版软件监护；鼠，用作计算机外设“鼠标”；驴，用作 P2P 下载，“电驴”是 P2P 下载的佼佼者……这些都是很强很 IT 的专业术语），全称是“调制解调器”，就是用于完成“载波”并“卸载”的装置。你尽可以展开想象的翅膀，把“调制解调器”想象为一艘大而快的船，可以在浩瀚的海洋里航行，任何小船都可以搭载在这艘大船上，到达大洋彼岸。如果小船直接出海，它抗击风浪、颠簸、礁石的能力太弱，等待它的很可能是灾难。

---

[1] 这种原始频率被称为“基带信号”。





模数/数模转换（A/D 和 D/A）、PCM 和线路编码

两个人面对面交谈，在没有外在干扰的情况下，很容易听到对方的声音。但是如果是在闹市街头，堵车严重的地方，喇叭声连绵不绝呢？如果两个人的距离是 50m、100m、1km 甚至更远呢？“吼”恐怕都解决不了问题了。“模拟”信号也存在同样的问题。模拟信号在传输过程中，由于受到外界干扰，总能量会损失惨重，那么信号本身也会发生畸变和衰减；所以模拟传输时，每隔一定的距离就要通过放大器来放大信号的强度，但与此同时，由噪声引起的信号失真也随之放大。传输距离增大时，多级放大器的串联会引起失真的叠加，从而使信号的失真越来越大。数字技术让这一问题迎刃而解。

我们都知道，计算机的语言中只有两个符号“0”或者“1”。这似乎比人的语言简单得多，就算是英文，还有 26 个字母呢！这种类型的信号在传送过程中都采用脉冲方式，并且只有两种状态：高电压和低电压，高于某个值（如 A1）的电压就是“1”，低于某个值（A2）的电压就是“0”，而 A1 和 A2 之间还有较大的差值，保证信号传送的中转站（也就是各种网络节点）不会误判。传输过程中，电压依然会由于噪声的干扰和能量的损失发生衰减，但是在传输一段距离之后，加入一种“再生器”的装置，读出要传送的电压值，其实再生器并不用读出具体电压，只要读出是否高于 A1 或者低于 A2，即可判断传送的是 1 还是 0（如图 4-4 所示）。接着，再生器将重新生成信号并传送下去。重新产生的新的电压信号完全消除了前一段电路对信号的衰减和畸变。这样多级的再生不会累积噪声引起的失真。

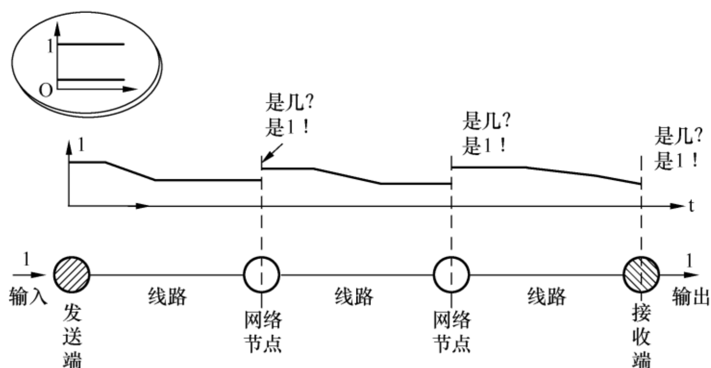


图 4-4　0 和 1 在线路上的传送

人们通过上述办法，把“模拟”信号和“数字”信号结合起来，从而搭建起现代通信的基础平台。“数字化（digital）”，无论说中文还是英文，12 岁以上的人，基本都知道这是在说一个时髦词。

“数字”所代表的是先进的电子技术，是 IT 业的时尚潮流。

电视，我们要数字的（尽管我国数字信号的电视节目还没有普及）。



手机，当然是数字的，中国的移动运营商早就向模拟网说了 Bye-bye。

相机，数码的（数码就是数字，英文都是 Digital）。

空调，数控的（空调吹不出“数字的”风，但商家说，我这风是在数字信号的控制下吹出来的，当然就“白里透红、与众不同”了）。

像心电图一样的锯齿波是模拟信号典型的波样，比如我们的声音。面对如图 4-5 所示的锯齿波，我们也就明白了为什么人类社会如此复杂。因为人类的原始的现实的生活中，各种信号都是模拟的。不仅仅是声音，不仅仅是我们的心跳的规律，更包括我们的感情，都是“模拟信号”。你看“情绪化”一词又总是用来代表不稳定的，非理智的……和生活相比，数字通信的世界却是那么的简单。它 0 就是 0，1 是 1，正所谓“爱憎分明”。

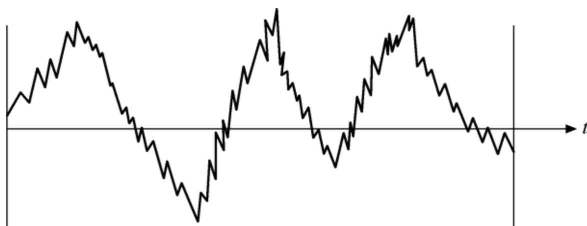


图 4-5　锯齿波

为什么必须是数字的？这是传送和表示的需要。前面讲过，任何在线路传送中发生的对数据的影响，都可以通过再生器予以“矫正”。因此任何明确的 1 或者 0 不容易受到各种噪声的影响，不容易引起歧义，因此传送要求也会很低。当然这一点很难和人类社会做对比：人与人的交流中，人可能说谎话，天天吹嘘自己是专家的，未必是真的专家；天天说房价不会跌，可金融危机来了，再好的房子也卖不掉；天天说这是真的华南虎，其实根本就是纸老虎。因为人会骗人，而机器不会，你赋予它的使命，它会不折不扣地完成，如果它没有完成，你只能找自己的原因，怨不得机器。

你知道20世纪最伟大的科学家是如何创造了数字通信的吗？这要从一个叫做奈奎斯特的牛人说起。该牛人最为人称道的，是在 20 世纪 20 年代，发现了一个规律：如果模拟信号以规则时间间隔抽样，且抽样速率是模拟信号中最高频率的两倍，那么所得样本是原始信号的精确表示。这个定律，读者们需要好好理解。我们知道，在话音通信中，人类话音产生的频率的正常范围是 300Hz～3 400Hz。为了让这个频率范围内的信号顺利地在通信网上传送，我们取其最大值 3 400Hz 来进行抽样（对于 300Hz 的，多抽样几次也不会有什么问题），这意味着需要每秒 3 400 × 2 = 6 800 个抽样值。但实际上，电话系统不是分配 3 400Hz 的信道，而是分配 4 000Hz 的信道，这是为了标准化和方便计算——看，这又印证了通信是应用型技术，这个 4 000，就是人为定义的；在 300Hz 和 3 400Hz 处设置一个筛网——在电子学里面叫做“滤波器”，滤波器其实就是一个过滤装置，只不过过滤的不是泥沙，而是高于 3 400Hz 或者低于 300Hz 的所有频率的信号。被过滤掉的那些信号，人基本上都听不见，再花精力去传送，意义并不大（当然，如果未来传送 Hi-Fi 质量的语音，也许能听见哦，现在已经有这样的技术

了）。当模拟话音信号转换为数字形式时，要保证每秒 8 000 次抽样（**4 000Hz，就是每秒钟 4 000 次，奈奎斯特老兄让我们再乘以 2，即是 8 000 次**）。在数学上，这等于每个抽样的时间是 125 微秒（1 秒除以 8 000 次，就是每次的持续时间了）。

我们借助奈奎斯特的伟大定律，知道在电话系统中每秒钟至少要抽样 8 000 次。对每次抽样所得的量值还必须进行"阶梯量化"。为什么要量化呢？因为抽样后形成的脉冲信号在幅度上仍是可以连续取值的，这显然不符合数字信号的基本要求，说明这种抽样后的脉冲信号仍是模拟信号。而将抽样得到的脉冲信号变成数字信号很关键的一步就是对其进行量化，因为数字信号要求脉冲幅度只能取有限个数值。量化的层次或者阶梯越多，声音的真实性越强，当然，需要的网络资源也会越多。科学家把每次抽样的幅度按照 256 个阶梯排列，每个排列都是一个 8 位的二进制数（如 01000110，从 00000000 到 11111111，正好是 256 个阶梯）。这时候，我们会得到一个你可能听到过的数字：8 000 × 8 = 64 000，也就是 64k（如图 4-6 所示）！与计算机的基础知识一样，"位"和"字节"是 8∶1 的关系。每个字节由 8 位组成，其英文简称比较相似。"位"是 bit，用小写字母表示，我们常写的"带宽达 50Mbit/s"；而字节的英文简称是 Byte，一般用来形容文件或存储区大小，如硬盘 50G，就是指 50G 的 Byte。这里要提醒各位读者，通信中的 64k，是指 64 000，而计算机中的 64K，则是 65 536，因为 1K 表示的不是 1 000 而是 1024。

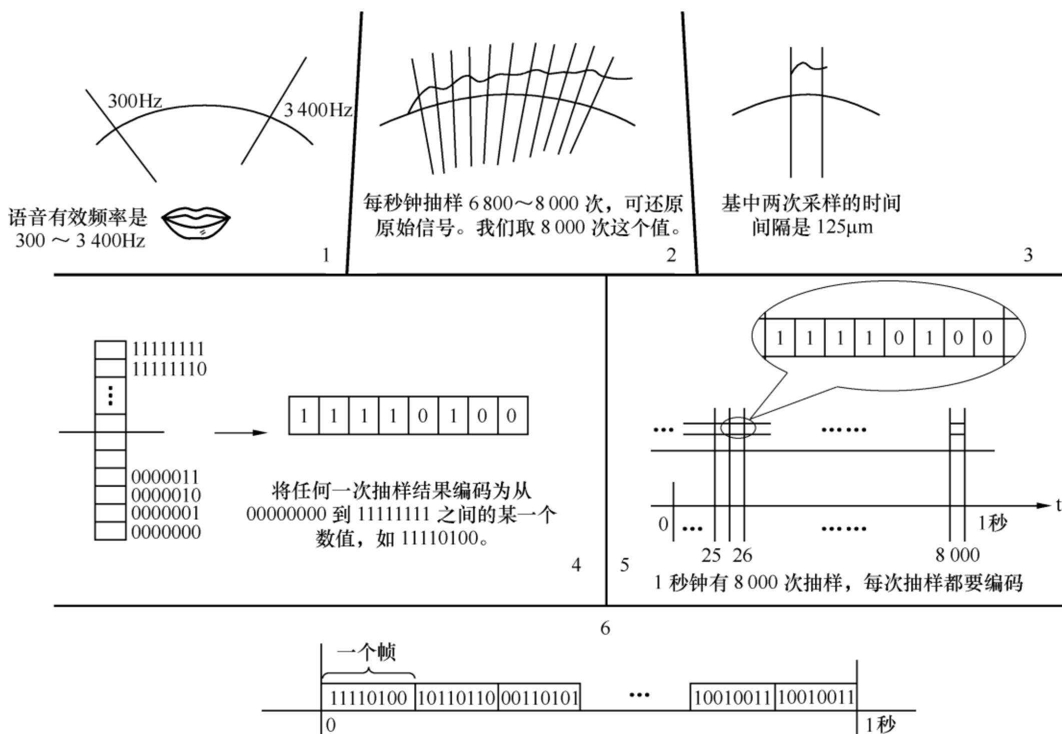


图 4-6　电话信号的编码速率为什么是 64kbit/s



继续描述 64k 这个数字的含义。语音信号如果采用每秒 8 000 次的抽样频率，而每次抽样用一个 8 位（bit）二进制数表示其振幅，那么每路需要的数据“宽度”是每秒 64kbit，也就是每秒钟在线路上必须通过 64 000bit 的“0”或者“1”，才能保证有足够的线路宽度供一路语音通过而不至于发生语音信号“走样”。我们将 64kbit/s 称为一路语音信号的带宽需求量。这种量化的方式被称为 PCM（Pulse Code Modulation，脉冲编码调制）。

当然，如果你用 32 位二进制数表示一个抽样的振幅，那么带宽需求量会增加到 32 × 8 000 = 256kbit/s。如果采用压缩算法，每次抽样是 6 位二进制数，每路语音信号的带宽则为 6 × 8 000 = 48kbit/s。

经历了抽样量化以后，就开始另外一个通信过程——信道编码，这是一个将数字数据转换为可以在线路上传送的数字信号的过程。前面我们说，用高电压表示 1，低电压表示 0，这是数字信号的表示方式，然而通信线路上的实际情况远比这个复杂，要使数字信号能够在线路中传送，就要使信号的传递方式适应线路的要求。因此，必须进行信号的信道编码。用于完成这项任务的 3 种常用编码技术是曼彻斯特编码、差分曼彻斯特编码和翻转不归零（NRZI）码（如图 4-7 所示）。这 3 种貌似高深的东西，其理解难度就像做一道中学的趣味数学题。

在曼彻斯特编码中，用电压跳变的不同来区分 1 和 0，即从低电压到高电压的跳变表示 0，从高电压到低电压的跳变表示 1。这种编码的好处是易于差错恢复，部分从高到低的信号跳跃可能被削减或扭曲，但在一定时间间隔中仍然能智能地确定信号是上升还是下降的。这就提供了在传输途中的信号恢复，从而把错误概率降低到最小。它被应用于以太网线路上非常合适。

差分曼彻斯特编码是曼彻斯特编码的一种修订格式，其特殊之处在于：每位的中间跳变只用于同步时钟信号；而 0 或 1 的取值判断是用位的起始处有无跳变来表示（若有跳变则为 0，若无跳变则为 1），所以只检测当前位的电压及跳变情况无法判断究竟是 0 还是 1，必须和前一位作比较才能得出结论。

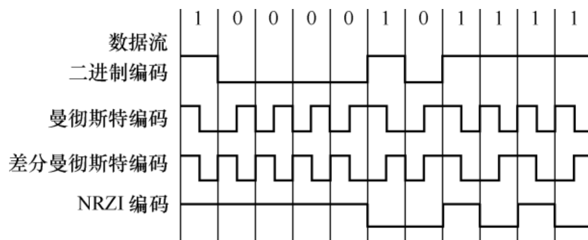


图 4-7　几种格式的编码

NRZI 编码是不归零编码（NRZ）系列的一部分，其中正、负电压分别对应于编码 0 和 1。它是基于从一个电压状态向另一个电压状态的跳跃（即从高到低和从低到高状态），而不是采

用电压级别对数据进行编码。在 NRZI 中，如果不发生跳跃，数据被编码为 0，反之，在跳跃的开始处，数据被编码为 1。

可能读者会很好奇，为什么要定义这么复杂呢？用最简单的二进制编码进行电压的传送不行吗？从理论上讲，用高低电压表示 1 和 0 当然是可以的，但是在工程实践中，要考虑误码率最低、传送准确率最高、最易于差错恢复，因此，就得遵从电流在导线中传导的物理学规律。这就造成不同的技术体制采用的信道编码方式会有一定的差异。

好了，讲了这么多，回归到本节的最核心内容——模拟与数字的转换。前面已讲述了模拟信号如何经过抽样、量化和编码，变成通信网可传送的数字信号，并描述了这样做的理论依据。在数字信号在网络上传送，到达目的地以后，经过相反的过程，将电压及其跳变转换为二进制代码，并采用 D/A 转换技术还原为模拟信号（这个过程就像数字代入公式计算一样简单），并经过前所描述的那样恢复成“模拟信息”，成功回归大自然！

接下来的一节，将为读者们讲解在数字化传输过程中的一种多个信号源共用物理通道的技术——复用技术。



复用与解复用

如果不考虑节约成本，一条线传送一路信号，把编码格式确定下来似乎就万事大吉了。但是实际情况是，我们需要在一根线上传送多路信号。复用和解复用就是为此而设计的。

上一节我们描述了 8 000Hz 抽样，抽样周期是 1 秒/8 000 次=125μs。在 125μs 时间内，抽样值所编成的 8 位 PCM 码顺序传送一次，我们现在要做的事情就是想办法在这 125μs 时间内“挤”进来自多条线路的 8 位 PCM 码。

任何一根电缆上，在同一时刻不可能传送两个电平。这就好像一个人做广播操，不管他多么优秀，速度多么快，那也只是他的动作频率高而已，绝不可能在同一时刻做两个动作。回到我们的 PCM 编码，对于一个 125μs 间隔的信息，虽然是有 8 位信号需要传送，它只能按照顺序传送这 8 个 0 和 1 的组合。

我们希望一条电缆能够同时承载多路语音，这就需要“复用”。“复用”这个词本身，可以理解为“反复使用”或者“多个共同使用”，而通信中“复用”显然是指后者，就是让多个信息源共同使用一条物理通道。通信要做的工作也很容易理解，就是让这多个信息源发出的信号在同一条物理或者逻辑信道上不要发生冲突，和平共处，共同分享信道资源，并安全到达目的地。

我们想象一下汽车和道路的例子。某条道路上只能跑一辆车，3 个车队从甲地出发到达乙地，每个车队都运载一个客户的货物，3 个车队的车辆数分别为 100、80 和 75 辆汽车。接不同车队的人都在乙地等候，谁接哪个车队是明确的，每个接车队的人都希望自己的车队尽快到达。假如你开了这个运输公司，你如何安排最为合理？这其实是一个有趣的数学命题（如图 4-8 所示）。



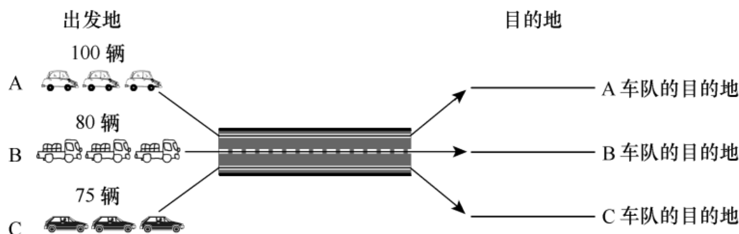


图 4-8　问题的提出

我们有以下两种方案可供选择。

第一种方案是把所有车队的车按照如下顺序排列（如图 4-9 所示），从 A 车队的第 1 辆开始，第 2 辆……第 100 辆，接下来是 B 车队的第 1 辆、第 2 辆……第 80 辆，最后是 C 车队 *N* 的第 1 辆、第 2 辆……第 75 辆。顺序编号以后，从 1 号开始到最后一辆，从前向后排列。

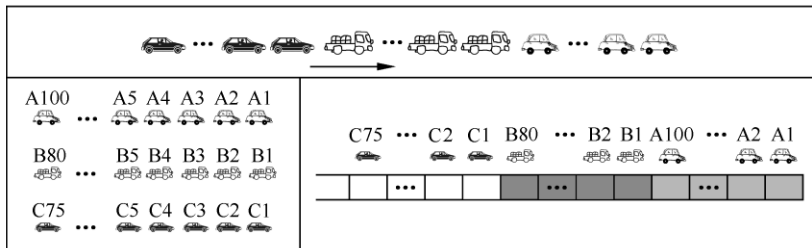


图 4-9　解决车队传送的第一个方案

这种方案比较容易理解，结果是 A 车队先到，B 车队紧跟其后，然后是 C 车队。但是你要理解接车的人的心情，越往后的车队，到达时间越晚，接车的人等不及啊！还有，第一车队有可能很长，等第一车队过去，第二车队的再出发，很可能影响了第二车队的效率，更不要提后续的车队了。这是我们刚才讲的第一种“复用”——对一条道路的反复使用。

我们建议用另外一种方案（如图 4-10 所示）。A 车队第 1 辆车在第 1 个位置，B 车队第 1 辆车在第 2 个位置……C 车队第一辆车在第 3 个位置，A 车队第二辆车在第 4 个位置，B 车队第二辆车在第 5 个位置……如此排列下去。

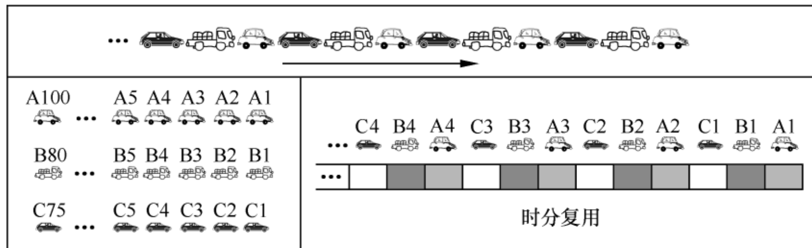


图 4-10　解决车队传送的第二个方案

这种方案最大的特点是实时性好，接车的人不用长时间的等待，他可以根据车到达的情

况安排卸载工作，到达一辆，卸载一辆。

第二个方案，就是在通信中我们采用的时分复用技术（TDM），不同之处在于通信中的时分复用，不采用汽车运货，而是采用“时间片”运送信号。在同一条线路上按照时间位置均匀分片，每个时间分片被一个用户的信息流占用。这就是“时分复用”——把时间拆分，然后大家一起共享它。

就好比 1 个幼儿园老师管理 100 个宝宝，她非常能干，把每分钟分成 100 份，第 1 份管理第一个宝宝、第 2 份管理第二个宝宝……第 100 份管理第 100 个宝宝（如图 4-11 所示），并周而复始地循环。

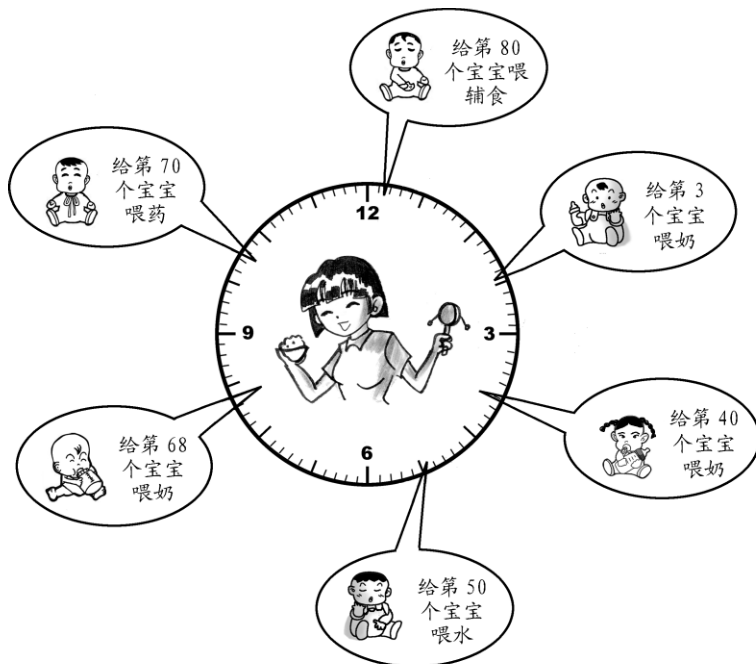


图 4-11　时分复用

当然，在现实生活中的确很难做到这一点，因为这样的时间切片，人根本无法完成任何一个肢体动作，但是在通信设备里面，要实现这个功能并不难，因为计算机处理能力太强了！知道 1.8GHz 的 CPU 是什么意思吗？是每秒钟有 1 800 000 000 个时间分片，每个时间分片可以做不同的事情。虽然这个数字对我们“复用”的理解并不是十分关键，但是你可以想象，在与计算机设备类似的通信设备里面，时间分片并加入活动是一件轻松愉快和手到擒来的事情。

按照时间分片来“复用”，叫做 TDM（Time Division Multiplexing，时分复用）。还有按照频率分片的，那叫 FDM（Frequency Division Multiplexing，频分复用）。本书还会讲到光通信



中的 WDM（Wave Division Multiplexing，波分复用）。一个苹果，你可以横着切，可以竖着切，当然也允许我们拿着水果刀从外向里一层层地切——就像平时削苹果一样。总之，你可以利用其特性，从多个角度去“切分”。对于物理线路而言，无论哪种切法，切成的每一片（不管是时间切片、频率切片还是波长切片）都可以被不同的信道占用，并且相互之间不干扰，从线路的整体来看，它被“重复利用”，因此形成“复用”。

花开三朵，单表一支。我们以 TDM 为代表进行分析。

前文讲过 PCM，即脉冲编码调制，就是时分复用的典型应用。通信技术往往比现实生活的例子要复杂。我们用道路和汽车的例子是为了让读者有感性认识，这比繁琐的公式推导和混乱的图表要清晰很多。比如人们发明了钟表以表示时间，但在通信设备中并没有这样的“时间”概念，大家采用信息内容本身来获取相互间的一致性，这就是“同步”。

在若干个语音 64kbit/s 的信息流汇聚到一起的时候，必须步调一致，就像一个大型乐队，需要步调一致才能奏出美妙的音乐。在复用中，引入了“同步”的概念。同步的概念相当于解决车队在采用第二方案运送货物时，如何指挥该哪辆车出发，而不要引起混乱。TDM 提出了“同步码”概念，来保持若干路信号步调一致地在一条线缆上“复用”。另外，当电话处于占线、拨号、应答、挂机等过程的时候，是需要在主叫方和被叫方交互一些信息的，这些信息被称为“信令”。同步码和信令码要各自占用一定的通道。

接下来的事情就是人为规定了。

国际电信联盟（ITU）将话音 PCM 复用做了两种建议：一种叫做 PCM30/32 制式，一种叫做 PCM24 制式（相当于一种是 30/32 个车队，一种是 24 个车队）（如图 4-12 所示的是 PCM30/32 制式）。两种系列不但路数不同（一个 30 路话音，一个 22 路话音，每种的另外两路分别被同步和信令占用），而且因为历史原因，帧结构及压扩律也不同（PCM30/32 采用 A 律，PCM24 采用μ律）。TDM 中每个时间切片被称为一个“时隙[2]”。在 TDM 中，我们将大量用到“时隙”这个词。

若干路电话被分割为若干等份，在不同时间切片中被“复用”到电话网中传送；到达对方后又被“解复用”回去，将分割的等份再重新组合起来，形成完整的一路路语音。从宏观上看，实现了几十路电话同时通过一条线路从源点到达目的地。

图 4-12 中，每一行就是 125μs（1 帧）8 位 PCM 码分为 32 个从线路上通过，而每一列则是一个“车队”，也就是一路通话。我们可以计算出，如果一共有 8 000 行，就是整整一秒钟时间，能够通过 8 000 × 32 × 8=2 048kbit，这就是 PCM 的一次群速率——2 048kbit/s。

有时候初学者总混淆 PCM 和 TDM。我们可以这么理解：TDM 是一种复用方式，而 PCM 是利用 TDM 原理而人为规定的具体编码格式。用户信息经过 PCM 编码后，可以在 TDM 技术模式的网络（如 SDH、DDN 等）上传送，也可以在 FDM 或者 WDM 技术模式的网络上传送。

[2] 时隙是指能明确决定其时间位置及用途的周期性重复的时间间隔。如在一帧上分配给各路信号的特定位置称为路时隙。在 PCM30/32 制式中，帧分为 32 个路时隙。1 帧的帧长为 125μs。

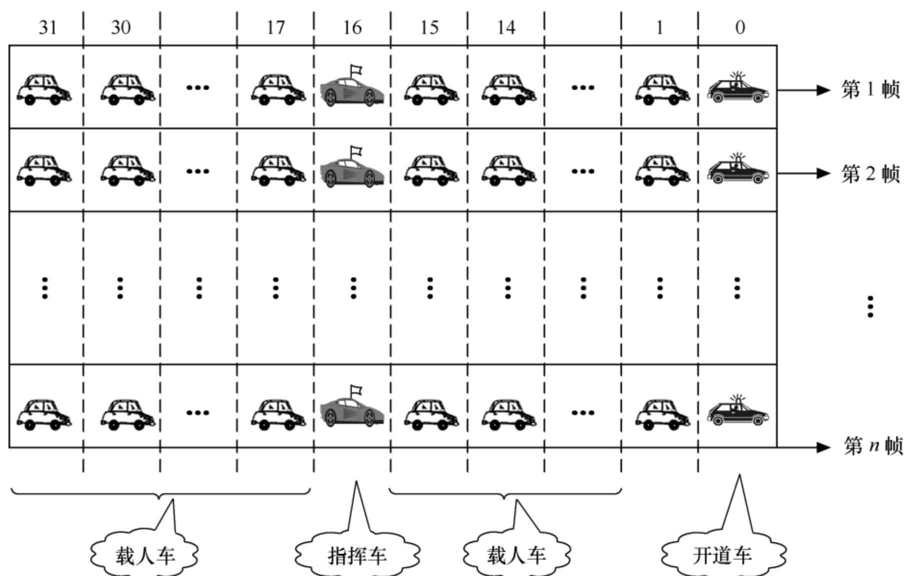


图 4-12　PCM30/32 的原理

 波特率和比特率

波特率和比特率是数字编码的基本概念。理解这两个概念，将有助于读者理解信道编码的方式。

波特率是指载波调制状态以多进制数表示时单位时间内信号状态的改变次数。当采用二进制时，即为比特率。"比特"可理解为"位"的意思，而通信中的一位，只有两个选择——"1"或者"0"。如果线路上的信号传送比特率是64kbit/s，就是指线路上每秒钟传送64 000个1或者0信号。

任何一个波形的变化带来的可能是若干个比特的数据变化（当然也可能是一个比特的变化）。我们把波特率想象为人做动作。一个人每做一套动作是一个波形，那么这套动作中的每个身形变化就是一个比特的数据传送。如果一套动作有4个身形变化组成，每个身形变化是0或者1，那么每套动作可以代表一个4位的二进制数。4位的二进制数则可以代表从0到15一共16种情况，也就是说，一共存在16种套路的动作。

图4-13将对我们理解波特率和比特率有很大帮助。

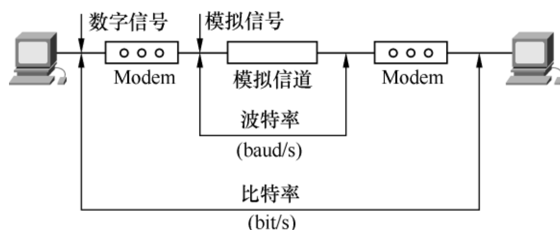


图 4-13　波特率和比特率的比较





几种典型数据技术的数据格式

通过前面所讲的内容，我们已经知道，任何数字通信的信息，都被转换为 0 和 1 的组合并通过各种物理信道传送，从源地址发送到目的地地址。然而要保证这些 0 和 1 安全到达正确的地点，是需要一定的组织管理的。通信网络将如何组织这些 0 和 1？根据信息自身特点的不同，需要采用不同的“容器”。也就是说，信息是如何在源地址把原始信息转化为 0 和 1 的组合，这些 0 和 1 的组合通过怎样的包装，才能安全到达正确的目的地？

好了，这是通信中最关键的环节之一，也是最不容易理解的环节之一。我们把信息的出发地和目的地想象为几个城市，把要传送的信息想象为在城市间需要互相运送的货物，前面所讲的以曼彻斯特编码为代码的物理编码实施后，我们可以理解为几个城市之间的道路已经修通了，路标合理、信号灯正常、没有坑坑洼洼，只要按交通规则驾驶汽车，就不会因为道路对运送货物造成影响。接下来的工作是把货物在出发地拆分、打包、装车、寻找路径、到达目的地，在目的地拆包、安装（组合）货物。其中寻找路径的方法在第 5 章会讲到，但寻址和编码是相互联系的，也就是说，合理的打包方式会给寻址工作带来便利。如图 4-14 所示，数据拆分、打包的方式很像货物打包装车的方式。

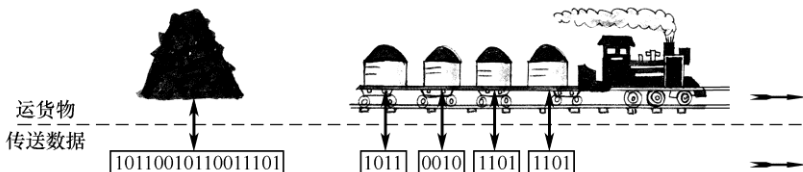


图 4-14　出发地到目的地的煤和 0、1 逻辑的信息

数据被拆分、打包的方式，实际上就是选用何种类型的容器的问题。容器的特性取决于以下几方面因素。

- 道路的特征：比如单行道和双向车道是不一样的，车道宽窄是不一样的，水运和空运是不一样的，道路不同，选用容器的类型也不完全相同。
- 货物的特征：运送不同类型的货物，选用容器的类型也不会相同。
- 货物本身的运送要求：时间要求、安全性要求、完整性要求等，都会对选用容器的类型带来影响。

很多初学者对这么多技术体制采用不同的编码格式表示不解，如果认真分析上述 3 个决定条件，对理解多种编码格式的区别很有帮助。

值得一提的是，通信中的“容器”还不仅仅运送信息本身，它可能还要运送许多为了保证信息运送成功而增加的一些额外的“容器”，这些容器和运送信息的“容器”类似，但并不装载有效信息。比如在以太网里面，ARP 帧就是一种容器，它运送的是寻找目的地的特殊信息，它也需要有一定的编码格式，这种编码格式既要和承载数据的容器类似，以保证线路传送信息格式的统一性，又要有所区别，以保证所有接收到该 ARP 帧的终端都能识别出此帧为



ARP 帧而非信息帧。这是通信独有的东西，很难用货运的例子做类比。

有了这样的基础，在分析任何一种网络技术的数据包、帧、分组等的编码格式以前，都要对这种技术有一个大体的了解。技术本身的特性和所承担的业务类型，决定了其编码格式。反之，编码格式也决定了这种技术本身的特性和适用的业务类型。那么到底一项技术是先有编码格式，还是先有业务类型呢？这个问题和“先有鸡还是先有蛋”的答案是一样的。

1. 以太网帧

以太网对大多数人来说都不陌生。IEEE 制定的 IEEE 802.3 标准给出了以太网的技术标准，它规定了包括物理层的连线、电信号和介质访问层协议的内容。以太网是当前应用最普遍的局域网技术，它很大程度上取代了其他局域网标准。在 20 世纪 90 年代的网络课程里面，还有令牌环网、FDDI 和 ARCNET，而现在它们仿佛都像梦一样神秘地消失了，只留下部分教科书上支离破碎的讲解，供后人做一些原理性的了解。

以太网的标准拓扑结构为总线型，但目前的快速以太网（100BASE-TX、100BASE-FX 和 100BASE-T4 三类）和吉比特网以太网（1000BASE-CX、1000BASE-T、1000BASE-SX 和 1000BASE-LX 四类）为了最大程度的减少冲突，并最大程度地提高网络速度和使用效率，使用交换机来进行网络连接和组织，这样，以太网的拓扑结构就成了星型；但在逻辑上，以太网仍然使用总线型拓扑和 CSMA/CD（Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect，载波侦听多路访问—冲突检测）的总线争用技术。CSMA/CD 的有趣之处，是它把一组叽叽喳喳叫着要发言的计算机有序组织起来，让它们有条不紊地召开会议，我们后面对这个技术将做专门的讲解。

“以太”这个名字来源于 19 世纪的物理学家假设的电磁辐射媒体——光以太，后来的研究证明光以太不存在。以太网技术的最初进展来自于施乐公司的许多先锋技术项目中的一个。人们通常认为以太网发明于 1973 年，一个叫做 Robert Metcalfe 的年轻人给他的老板写了一篇有关以太网潜力的备忘录。

1979 年，Metcalfe 为了开发个人电脑和局域网离开了施乐公司，成立了 3Com 公司。正是这个 3Com 公司，把以太网的事业做大做强，并在这个市场中大赚一笔，可谓“名利双收”。

20 世纪 90 年代的以太网网卡也可称为 NIC（Network Interface Card，以太网适配器）。这张卡可以支持基于同轴电缆的 10BASE2（BNC 连接器）和基于双绞线的 10BASE-T（RJ-45）。今天的以太网卡已基本没有 10BASE2 接口了，如图 4-15 所示。

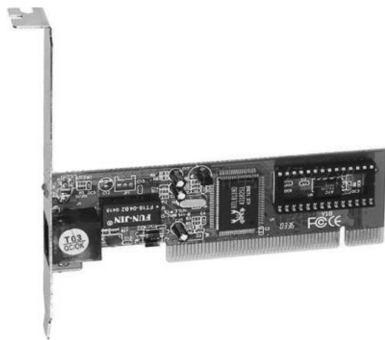


图 4-15　以太网网卡

以太网采用的技术是 CSMA-CD。以太网采用总线型结构，一根主线贯穿始末，其他的线只是主线的分叉，每台主机都通过网线连接到“总线”上，当某台电脑要发送信息时，必须遵守以下规则。





（1）开始：如果线路空闲，则启动传输，否则转到第（4）步。

（2）发送：如果检测到冲突，继续发送数据直到达到最小报文时间（保证所有其他转发器或终端检测到冲突），再转到第（4）步。

（3）成功传输：向更高层的网络协议报告发送成功，退出传输模式。

（4）线路忙：等待，直到线路空闲。

（5）线路进入空闲状态：等待一个随机的时间，转到第（1）步，除非超过最大尝试次数。

（6）超过最大尝试传输次数：向更高层的网络协议报告发送失败，退出传输模式。

其实用不着做这么复杂的解释。我们可以想象一个没有主持人的座谈会（如图 4-16 所示），没有领导和员工之分，没有上下级之分。每个参加者如果有话要说，都必须礼貌地等待别人把话说完再发言。这个会议如果采用 CSMA-CD 技术，相当于做了如下规定。

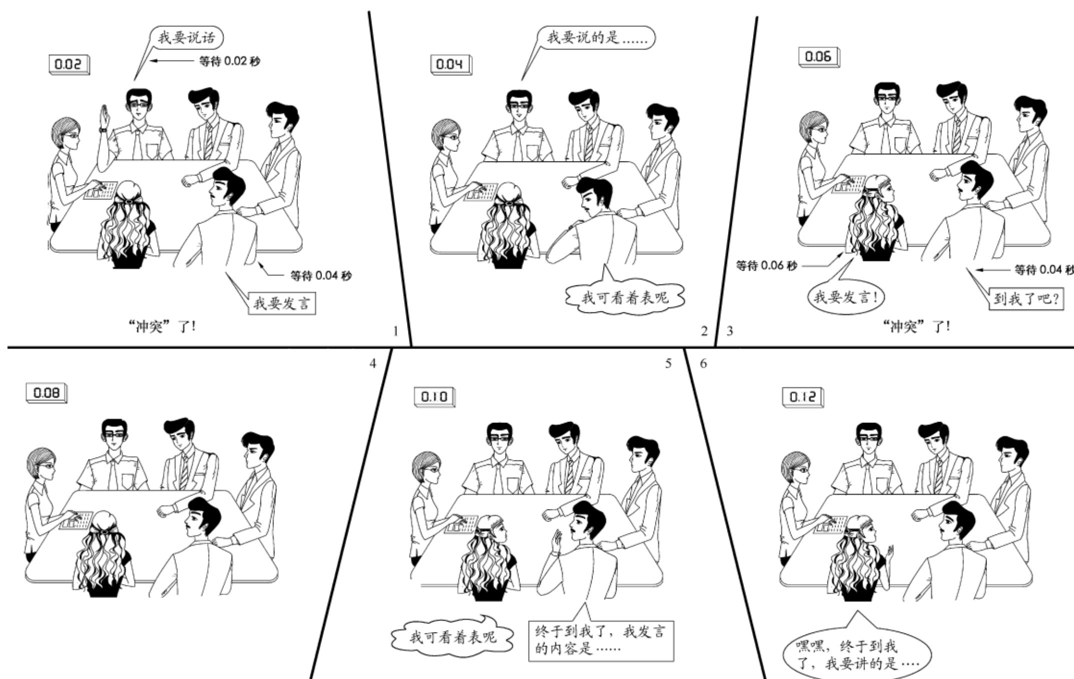


图 4-16　一个会议的“冲突检测”



- 每次只能有一个人发言。
- 任何人想发言，必须举手。
- 如果多个人同时举手，就让每个人等待一个随机时间。
- 一个人发言完毕，看刚才等待的人是否到了等待时间可以发言了，如果没有，则等待下一个人举手发言。

因为所有的通信信号都在共享线路上传输，即使信息只是发给其中的一个目的地，任何一台计算机发送的消息都将被所有其他计算机收到。在正常情况下，网络接口卡会滤掉不是发送给自己的信息，只有正确的接收者才会读出信息的内容。这种“一人说，大家听”的特质是共享介质以太网在安全上的弱点，因为以太网上的任何节点都可以选择是否监听线路上传输的所有信息。共享电缆也意味着共享带宽，所以在某些情况下以太网的速度可能会非常慢。

有了以上的基础，我们不难判断，作为以太网，它必须有合适的编码机制保证上述方法的实施。以太网的帧格式如图 4-17 所示。

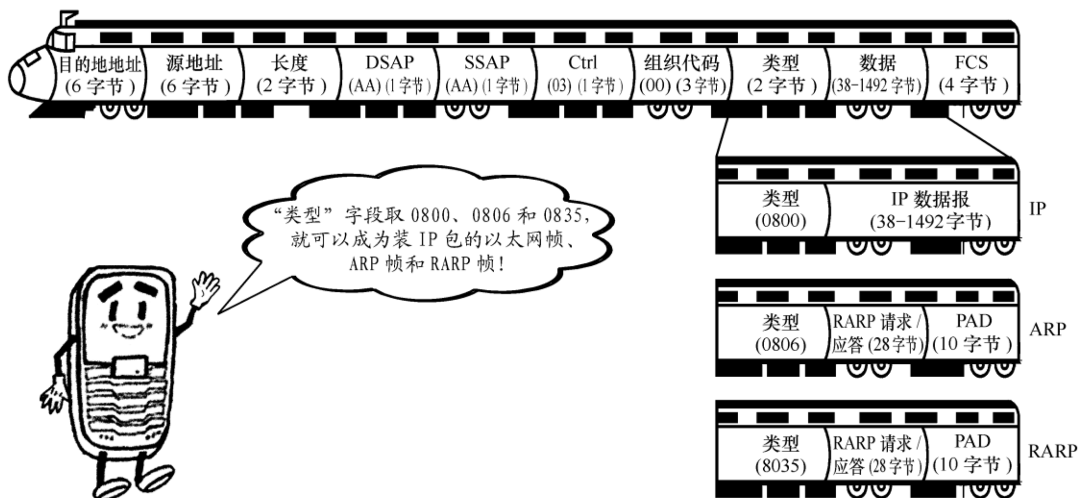


图 4-17　以太网的数据帧格式

最后的 4 字节 FCS 是一个很巧妙的设计，在通信领域几乎每种分组格式都要进行校验，因此都包含校验字节。当发送站发出数据分组时，一边发送，一边逐位进行 CRC[3]检验。最后形成一个 32 位 CRC 检验和，填在帧尾 FCS 位置中，一起在线路上传输。这有点像货物的装箱单。接收站接收后，对数据帧逐位进行 CRC 检验，如果接收端计算出的检验和与 FCS 相同，则表示媒体上传输帧未被破坏；反之，接收端通过 CRC 检验认为帧被破坏，则会通过一定的机制要求发送站重发该帧。

在通信技术中，0 和 1 的整编制数据集合，被称为“分组”，而数据链路层[4]的分组被称为“帧”，网络层的分组都被称为“包”，但有时候专家们又不按规则出牌，一些新技术体制的创立者喜欢自己定义名词，比如 ATM 的分组就被称为“信元”。以太网比较循规蹈矩，仍被称为“帧”；而 IP 网的分组被称为“包”或者“报文”。

一个以太网帧的长度是 64～1 518 字节。

---

[3] CRC 即循环冗余校验，是数据通信中常用的校验方法。它是利用除法及余数的原理来作错误侦测的。
[4] 数据链路层是按照 ISO/OSI 七层结构的定义，物理层之上、网络层之下的一层。在后续章节会有介绍。



2. IP 数据包格式

IP 技术是互联网的基础，其编码格式也是适应互联网的需求的。本节我们先来看看 IP 数据包的编码格式，如图 4-18 所示。

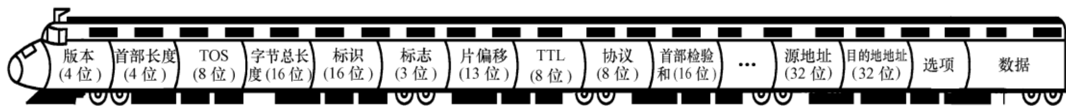


图 4-18　IP 数据包的格式

IP 数据包理论上最长可达 65 535 字节，但大多数的链路层都会对它进行“切分”——货物太大，而箱子并没有那么大，那么对货物的拆分就不可避免。

在 IP 数据包中还有一种 ICMP[5]的报文协议，如图 4-19 所示，我们看到的只是“火车的车身”，它会加上 IP 数据包头、以太网帧头后在局域网中传送。关于 ICMP，我们在第 11 章会详细讲解。



图 4-19　ICMP 的数据包格式

3. 帧中继帧格式

帧中继技术被用来连接两个局域网——企业分支机构之间的互连，或者企业连接到运营商的骨干 IP 网络上。帧中继是典型的数据链路层的技术，因此帧中继的编码封装也被称为“帧”。国际上帧中继网络发展一度非常快，而我国由于历史原因并没有大规模发展起来。

如图 4-20 所示的帧结构就是方便地将以太网的帧交换变换到骨干传输的电路交换（如 SDH）或者 ATM 交换上来。



图 4-20　帧中继的帧结构

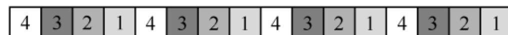
4. ATM 信元

目前通信网上的传递方式可分为同步传递方式（STM）和异步传递方式（ATM）两种。STM 的特点是：在由 N 路原始信号复合成的时分复用信号中，各路原始信号都是按

5　Internet 控制报文协议，被认为是 IP 层的一个组成部分，传递差错报文以及其他需要注意的信息。

一定时间间隔周期性出现，所以只要根据时间就可以确定现在是哪一路的原始信号。而异步传递方式的各路原始信号不一定按照一定时间间隔周期性地出现，因而需要另外附加一个标志来表明某一段信息属于哪一段原始信号。

ATM 与 STM 传输方式示意图如图 4-21 所示。



STM，每一路原始信号周期出现



ATM，每个信元的信头表明其属于哪一路信号

图 4-21　ATM 与 STM 传输方式示意图

前面讲到的 PCM 编码格式属于 STM，按照时间切片，整齐划一地传送信息，如果当前线路没有数据分组，则传送空分组。STM 不是对每个字符单独进行同步，而是对一组字符组成的数据块进行同步。同步的方法是在数据块前面加特殊模式的位组合（如 01111110）或同步字符（SYN）[6]。

ATM 的工作原理是：每个分组作为一个单元独立传输，分组之间的传输间隔为任意时间。ATM 技术一度被认为是未来通信网的核心，它在设计之初就被定义为能够承载任何信息的载体，这就很容易理解它为什么被设计为定长的 53 字节的帧格式（如图 4-22 所示）——适应快速交换能力，提高网络传输速度，尤其是语音信息，必须实时性强，那么采用 53 字节的信元，就有利于语音的快速传送。

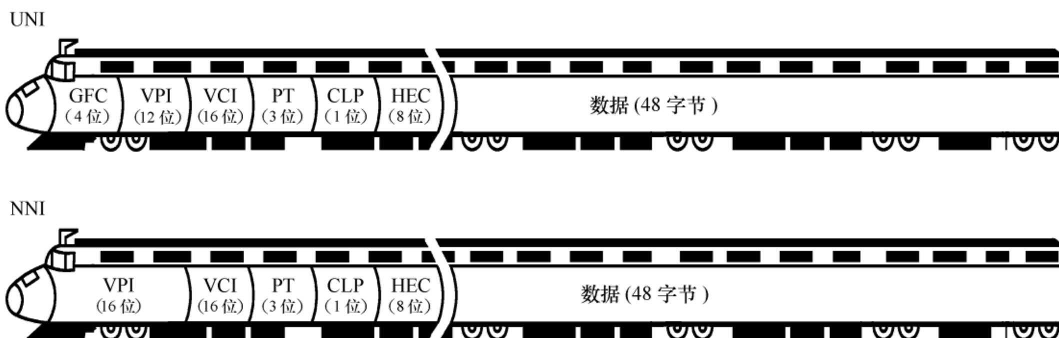


图 4-22　ATM 信元的帧格式

在这里我们要知道，既然是异步传递方模式，那么任何 ATM 交换机就必须能够识别从端口进来的信元，尤其是识别以下所述的两大信息。

第一，每个信元到底从哪里开始呢？ATM 的信元头中藏有相关信息，可以识别信元处在哪个位置。这个隐藏的信息就是 HEC。如何识别出哪一位是信元的开始位，我们称为“信元同步的检测”，如图 4-23 所示的方法，就是一般 ATM 交换机的检测方式。

[6] 一种特殊的字符串，用以表示“接下来就是一个完整分组”。



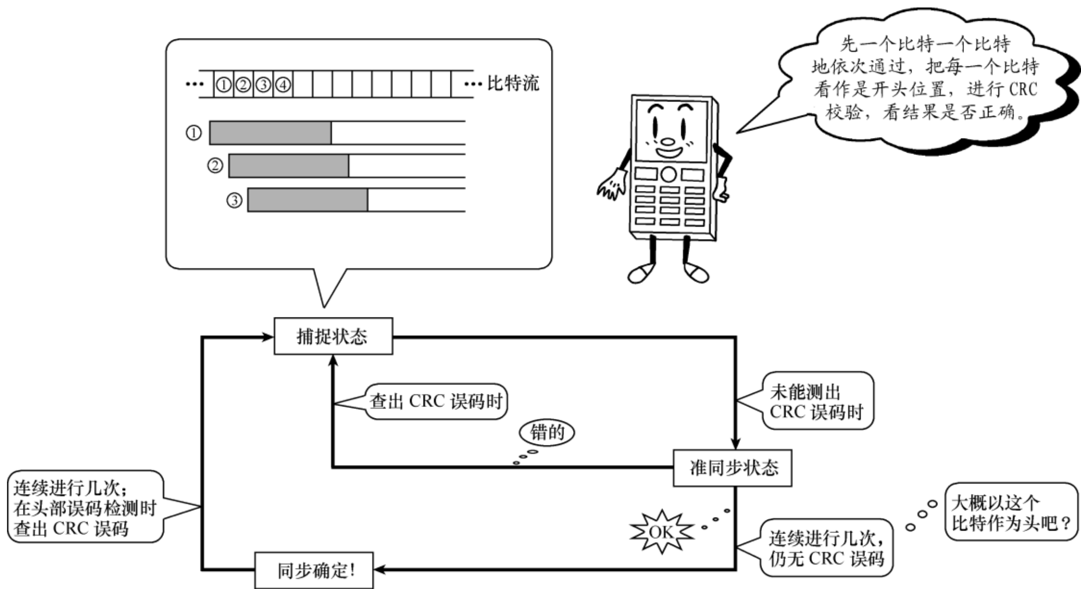


图 4-23　信元同步的检测

第二，这个信元属于哪条链路呢？ATM 信元头中的 VPI/VCI 值，就是链路标识符，通过这两个值的搭配使用，系统就很容易识别这个信元属于哪条链路，如图 4-24 所示。

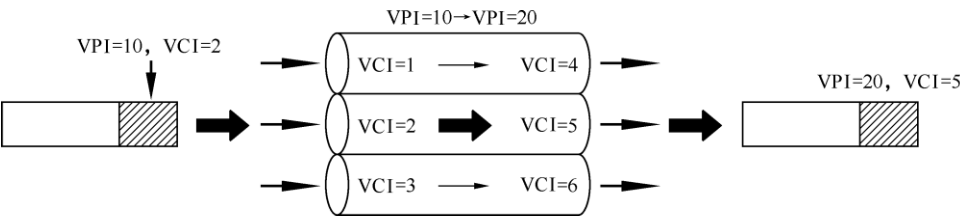


图 4-24　信元头中的 VPI/VCI 识别该信元属于哪条链路

5. SDH

同步数字体系（SDH）是最常见的电信传输体制，是电信领域的“常青树”。SDH 统一了世界上原有的数字传输系列，实现了数字传输体制上的国际标准及多厂家设备的横向兼容，这一点明显比其先驱——准同步数字体系（PDH）有更多的优势。这里所说的“兼容”，包括统一的数字速率等级、帧结构、复接方式、线路接口和监控管理，从而简化了信号的互通以及信号的传输和交叉连接。

正因此，SDH 被广泛应用，语音、DDN[7]、帧中继、IP、ATM 都可以承载在 SDH 上。那么对 SDH 编码格式的研究就很有价值。在 SDH 中，定义了“虚容器”，它是一种用来支持通道层连接的信息结构，这个容器并不用来盛水盛物，而是用来存放各种数字信息。研究 SDH 的帧结构，读者就可以了解“虚容器”是如何构造的，以及 DDN、IP 数据包、ATM 信元都是如何“装进”这些“虚容器”里的。

生活中人们创造出各种容器用来装固体、液体和气体。而 SDH 是如何设计虚容器呢？SDH 是以 155.52Mbit/s 为基础的序列。在这里说的“基础”，是指现有的北美体系 1.544Mbit/s、欧洲和亚洲的 2.048Mbit/s 系列的速率全以 155.52Mbit/s 的速率进行“多路复用”，凡是超过这个速率的传送，其速率是 155.52Mbit/s 的 4 倍、16 倍、64 倍，也就是 622Mbit/s[8]、2.5Gbit/s、10Gbit/s。当速率达到 10Gbit/s，和以太网的 10Gbit/s 速率一致，情况会发生微妙变化。

好，先让我们假设这个容器是一个长方形，里面有 9 行、270 列正方形小格子，每个格子代表 8 位（也就是 1 个字节），每秒钟，这个长方形格子在线路上传送 8 000 次。还记得 8 000 这个数字吗？对，在 PCM 一节有过介绍，而这里是人为定义，目的是方便计算。那我们看看每秒钟实际传送了多少位，这个数字其实就是线路的速率了。

$9 \times 270 \times 8 \times 8\,000 = 15\,552\,000$，也就是 155.52Mbit/s！

当然，这个长方形是经过专家精心设计的，每个数字都恰到好处，于是我们得到了 SDH 的传输速率：155.52Mbit/s。

可以看看每个小格子的速率，每个小格子有 8 位，而每秒钟会重复 8 000 次，于是每个格子的传输速率为：$8 \times 8\,000=64\,000$，也就是 64kbit/s。为什么这么设计呢？因为每路 PCM 语音是 64kbit/s，DDN 是以 64kbit/s 为基准的，要么是它的整数倍，要么是它的整数分之一。

接下来我们更进一步告诉各位，SDH 的 155.52Mbit/s 并不都用来承载信息，这个长方形容器，如图 4-25 所示，前 9 列被称为段开销（“开销”的英文叫做 Overhead）。而 SDH 的段开销是整个长方形的先验信息，传送时插入误码监视信息以及用于网络维护管理的信息。开销以外的部分才真正承载用户要传递的信息，被称为“有效负载”（英文叫做 Payload）。（英文的原意比较有趣，Payload 是指收费运输的货物，而 Overhead 则表示“直接赚不了钱”。）那么在线路上，这个长方形怎么被传送呢？要知道，线路上某一个时刻只能有一个电压信号，同一时刻只能传送一位“0”或者“1”。把这 9 × 270 的长方形想象为小学生用的作文纸，中文的书写顺序就是长方形中信息的传送顺序。

好了，容器介绍完了。那怎么把信息装到容器中，然后在线路上传送呢？我们拿 ATM 为例说明（如图 4-26 所示）。

---

7 数字数据网，后面会专门介绍，数据通信最基本的线路，透明传送，一般以 N×64kbit/s 速率传送，也可以低于 64kbit/s 速率，如 9.6kbit/s、38.4kbit/s 等。

8 严格地说，622Mbit/s、应为 622.080Mbit/s。接下来我们可能会简化一些数字，比如 155.52Mbit/s 简化为 155Mbit/s、2.048Mbit/s 简化为 2Mbit/s。



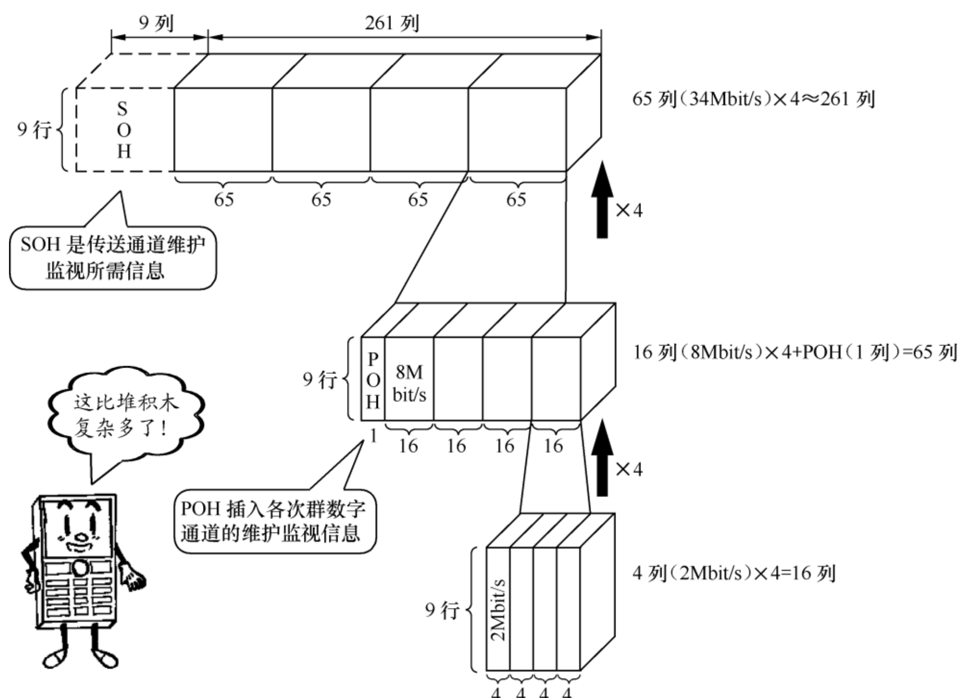


图 4-25　SDH 的帧结构（以 155Mbit/s 为例）

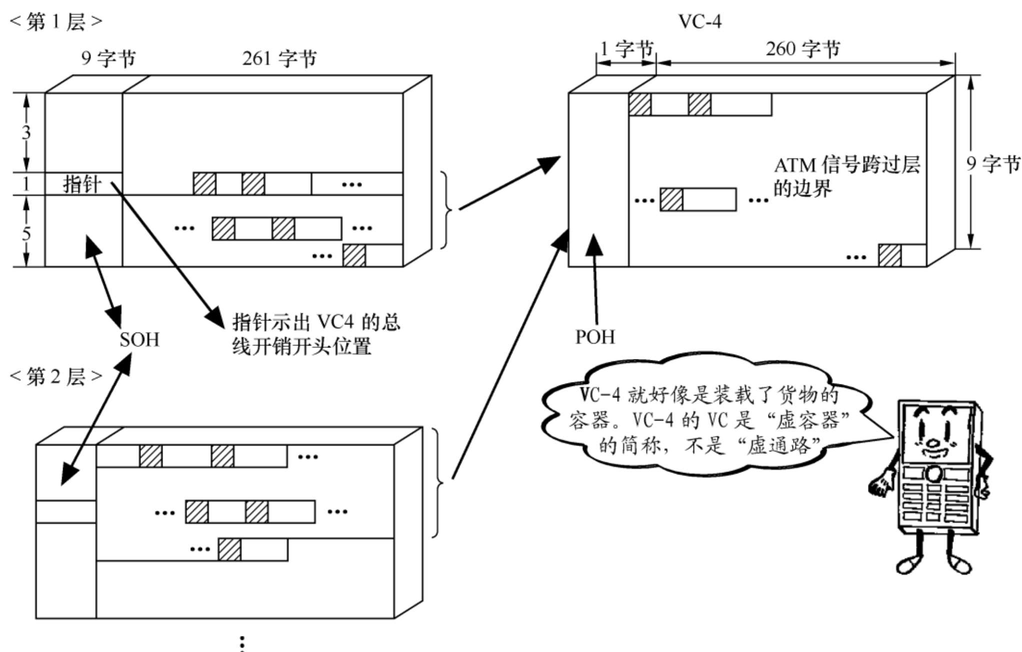


图 4-26　ATM 信元是如何封装到 SDH 上的（以 155.52Mbit/s 为例）

最后我们看一下 622Mbit/s 速率的容器是如何设计的（如图 4-27 所示）。

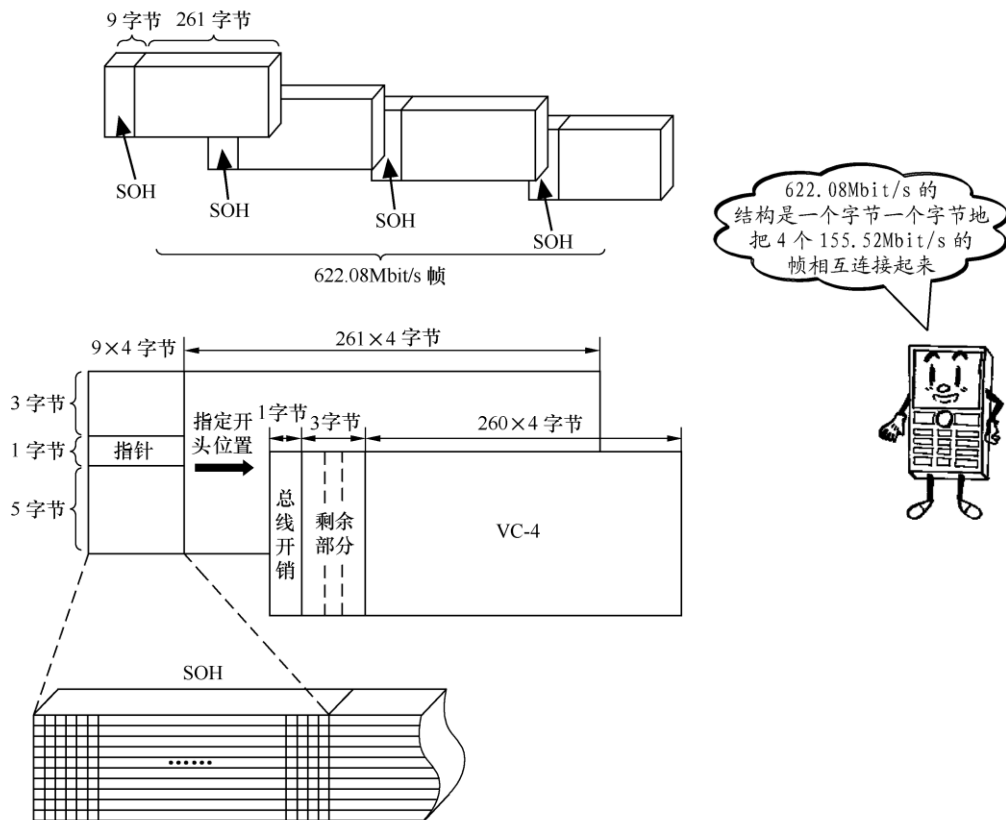


图 4-27　622M SDH 的帧结构



数据包、帧和信元名称的统一问题

在数据通信中，各种技术体制都有自己对数据格式的严格定义，而每种技术体制的数据格式名称各不相同，加上翻译方法上的差别，造成名称不像数据格式的定义那样统一。

比如 IP 的数据格式，有的人称为“IP 数据包”（IP Packet），有的人称为“IP 数据报”（IP Datagram）；以太网的数据格式，有的人称为“以太网数据报”（Ethernet Datagram），有的人称为“以太网帧”（Ethernet Frame）；最统一的叫法，是帧中继中的“帧”和 ATM 技术中的“信元”（Cell）。一般来说，“数据报”是比较通用的说法，不限定在任何层，也不限定任何技术；而“帧”一般指数据链路层的数据报；“数据包”一般指网络层的数据报。

通信中不“统一”的事情时有发生，即使“统一”了，容易引起歧义的地方也有很多，因此我们学习新知识的过程中，有时候不得不容忍某些书籍的“错误百出”，有时候又不得不容忍某些教授的“信口开河”，这一切不可避免，也会随时存在；发展快的行业总是如此，在大家还没来得及统一命名时，新的技术可能就震撼上市。也难怪，应用型技术总让人有无限



的想象力和发挥空间！通信行业的这种状况，需要我们的通信人在学习过程中多问几个为什么，多去查查资料，多去和资深人士交流，多看看专业书籍，尽量用规范的语言来描述专业的概念，避免在技术理解上出现偏差。这很重要。



图像和视频编码

传真能够让静态图形图像异地传送，拍下来的照片或者录像存放在计算机里面，通过电子邮件可以发送给你的朋友。但是在通信中我们提到图像和视频，有一个专用的英文词叫做 Videograph，研究的核心问题是如何实时地传送它们。电话会议、可视电话、即时通信中的视频聊天、远程监控，都需要将视频实时传送到远端。也就是说，要现场直播，而不要实况录像！

那么，考虑到实时性要求和清晰度，视频编码比语音编码要复杂很多，同时还要考虑视频编码中的声音搭配——必须让视频和语音同步。在视频会议中，没有人希望屏幕上的演讲者嘴形和听到的声音对不上。

推动图像编码技术走向大规模应用的基础是图像压缩编码的国际标准。国际上音视频编解码标准主要有两大系列：ISO 制定的 MPEG 系列标准，以及 ITU 针对多媒体通信制定的 H.26X 系列视频编码标准和 G.7 系列音频编码标准。1994 年由 ISO 和 ITU 合作制定的 MPEG-2 是第一代音视频编解码标准的代表，也是目前国际上最为通行的音视频标准。此外在互联网上被广泛应用的还有 Real-Networks 的 RealVideo、微软公司的 WMT 以及 Apple 公司的 QuickTime 等。目前音视频产业可以选择的编码标准有 MPEG-2、MPEG-4/H.264/AVC 和 AVS。

MPEG 使用起来比较简单，在压缩的第一步，构建一种参考帧，它是原视频画面的一个拷贝，在传输中，MPEG 在每 15 帧中加入一个所谓的 I 帧，而一系列视频画面中，在帧和帧之间只有少量信息发生了变化，有了参考帧，其他帧就很容易被压缩。因此，MPEG 就有了“预测帧”和“双向内插帧”这样有助于视频最大化被压缩的帧。

H.264 既是 ITU-T 颁布的标准，又是 ISO 的 MPEG-4 高级视频编码（Advanced Video Coding，AVC）的第 10 部分，因此，不论是 MPEG-4 AVC、MPEG-4 Part 10，还是 ISO/IEC 14496-10，都是指 H.264。请各位记住这个生猛的标准——H.264！与其他现有的视频编码标准相比，它能在相同的带宽下提供更加优秀的图像质量。当然，技术的先进性总伴随着实现的复杂性，看一看 H.264 所采用的编码流程的名称，就知道 H.264 技术的复杂了：帧间和帧内预测、变换和反变换、量化和反量化、环路滤波、熵编码——这些机理，老杨一个都不打算讲，它们更多的是数学公式的推演，晦涩并伟大着，深沉并合理着，严肃并美妙着。

另外一个标准，是我国拥有自主知识产权的第二代“信源编码”标准——AVS。“信源”是信息的“源头”，信源编码技术解决的重点问题是数字音视频海量数据（即初始数据、信源）的编码压缩问题，故也称“数字音视频编解码技术”。显而易见，它是其后数字信息传输、存储、播放等环节的前提，因此是数字音视频产业的共性基础标准。AVS 标准是《信息技术先

进音视频编码》系列标准的简称，它包括系统、视频、音频、数字版权管理 4 个主要技术标准和一致性测试等支撑标准，它依然是大量数学原理的推演和证明，依然晦涩并伟大着，深沉并合理着，严肃并美妙着。作为自主知识产权的标准，AVS 与 H.264 相比，主要具有以下特点：

- 性能与 H.264 的编码效率处于同一水平，或者说，一点都不比 H.264 差；
- 复杂度低，算法复杂度比 H.264 明显低很多，软硬件实现成本都低于 H.264；
- 我国掌握主要知识产权，专利授权模式简单，费用低。

考虑到视频编码的复杂性，老杨在本书不会对这些技术细节做过多描述，致力于此方面工作的读者，可以找相关材料仔细研究。



第5章 Chapter 5

讲讲“寻址”

编码的事情讲解完了。大家已经知道，自然界的任何信息，都通过各种编码方式在通信网络和线路上传送。

有了基本的信息传送方式和传送通道，我们将涉足通信网络中另外一个核心环节——寻址。也就是说，有了车辆，有了道路，解决了货物如何装箱、车辆如何排序之后，我们该进入一个新的课题——车辆如何从出发地顺利地到达目的地？



开场白

最初级的寻址是寻找方向，寻找方向是为了不做“南辕北辙”的傻事。通信网络有几种通信的方向。

- 单工（simplex）：数据只能在一个方向上流动。
- 半双工（half-Duplex）：可切换方向的单工通信，从某一时刻看，是单工的；从总体看，又是双工的。
- 全双工（full-Duplex）：通信允许数据在两个方向上同时传输，它在能力上相当于两个单工通信方式的结合。

单工就像是单行线，半双工就好比独木桥，全双工就是来回可对行的轨道交通，如图 5-1 所示。这里要注意，通信的方向是指两个网络节点设备之间的数据流方向，并不是指管线本身的数据流方向。一对同轴电缆，一根由 A 向 B 传送，一根由 B 向 A 传送，并不能说每根都是“单工”的。因为从 A 和 B 的角度来说，它们可以同时相互传送信息，这应该属于全双工模式。



图 5-1　单工、半双工和全双工分别像单行线、独木桥和新干线



有了方向，才有寻址的可能。

任何接入通信网络的终端 A，若需要从通信网络另外一个终端 B 获取信息，必须知道 B 所在的位置。这个位置，就要用地址来表达。比如要给某个人打电话，要知道对方的电话号码；要浏览某个网站，必须知道网站的 WWW 地址。总之，无论何种通信网络，要获取信息或者进行信息交互，发起者一般要知道信息所在的地方，而这些地址必须通过某种统一格式（如电话号码、IP 地址、WWW 地址）或者风格（超文本链接、电视频道）的标识来表示。

在任何一个通信网络上，每个节点都需要有规范的、可查询的地址标识。比如在电话交换网上，电话号码就是地址标识；在 IP 网上，IP 地址就是地址标识；在以太网上，以太网 MAC 地址就是地址标识；在互联网上，网址或者超文本链接地址就是地址标识（如图 5-2 所示）。

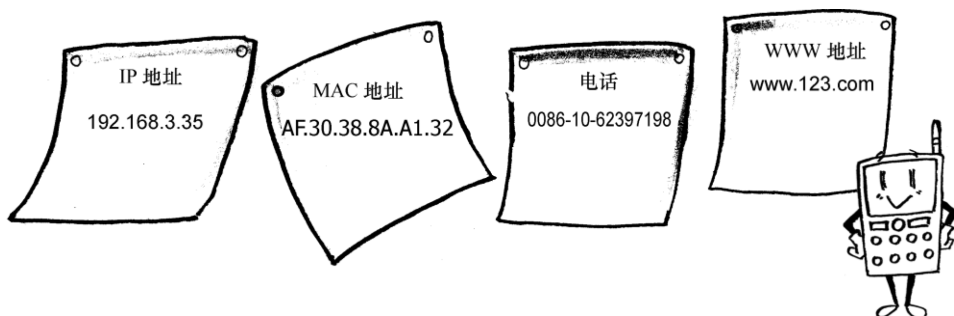


图 5-2　各种各样的地址格式

不同的网络，地址标识的设置方式不同。比如 IP 网，可以手动设定计算机的 IP 地址；在以太网中，MAC 地址一般是网卡出厂时候写“死”的（当然也可以修改）；在电话交换网上，电话号码是电信部门和基础运营商统一规划和分配的。相同的通信技术，地址标识都有统一规范，避免人为造成的互通障碍。

有了地址，还要有找到地址的方法。前边我们说过，任何网络元素都是非生物的，只能由人赋予其一定的“智能”，而同类的网络节点，赋予智能的方式、方法以及规则必须相同或者类似，否则各个网络设备无法理解其他设备的方式、方法和规则，整个网络若没有共同语言，会让网络上传送的数据无所适从。通信网中要寻址，就要有统一的地址规划和寻址方式。

我们先来回忆一下，在生活中我们从 A 地到 B 地是如何“寻址”的，如图 5-3 所示。

如果把 A～E 这 6 个地点看做 6 个网络节点，每个节点都应有一个道路指示牌，指示牌的格式是：

目的地　可选路径

这在通信网中就叫做“路由表”。

在本例中，老杨所说的“网络节点”，在工程实践中有可能是以太网交换机、路由器、程控交换机、ATM 交换机、MPLS 交换机等。



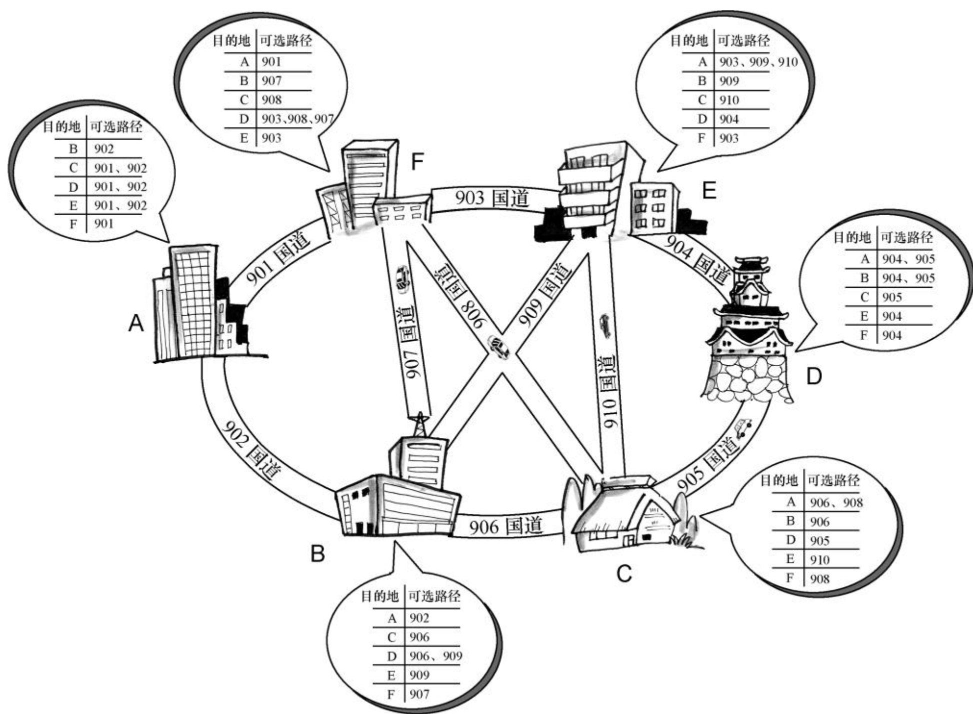


图 5-3　6 个节点设备的图和每台设备的路由表

下面我们从电话交换网的寻址讲起。



电话交换网的寻址

电话交换网的地址编号就是电话号码。电话号码在全球都有统一规范。我们暂不考虑企业内部的交换机，只考虑整个统一的电话交换网，有以下几个原则：

（1）电话交换网上的电话号码（地址）必须统一分配；

（2）任何电话交换机都必须了解这一分配规则；

（3）电话交换机将无条件执行人赋予它的功能，绝不能“随心所欲”，更不能“为所欲为”；

（4）电话交换网上的终端才分配号码，交换机并不分配电话号码。

当然，第（3）条说了也是白说，毕竟它是机器，机器绝对会听人的话，如果你发现机器没有按照你的指令办事，请查你的指令是否出了问题，千万别怀疑机器是不是太过聪明于是单独行事了——那是好莱坞电影的镜头，今天的科技还远未达到这种水平！

有了上述原则，我们看一看电话号码是如何分配的。

给每个国家分配一个唯一标识的国家代码电话号码，比如中国是 86，美国是 1。每个国家可以选择是否设置城市级别的区域号码。比如在中国，长沙是 0731，北京是 010，如图 5-4 所示。

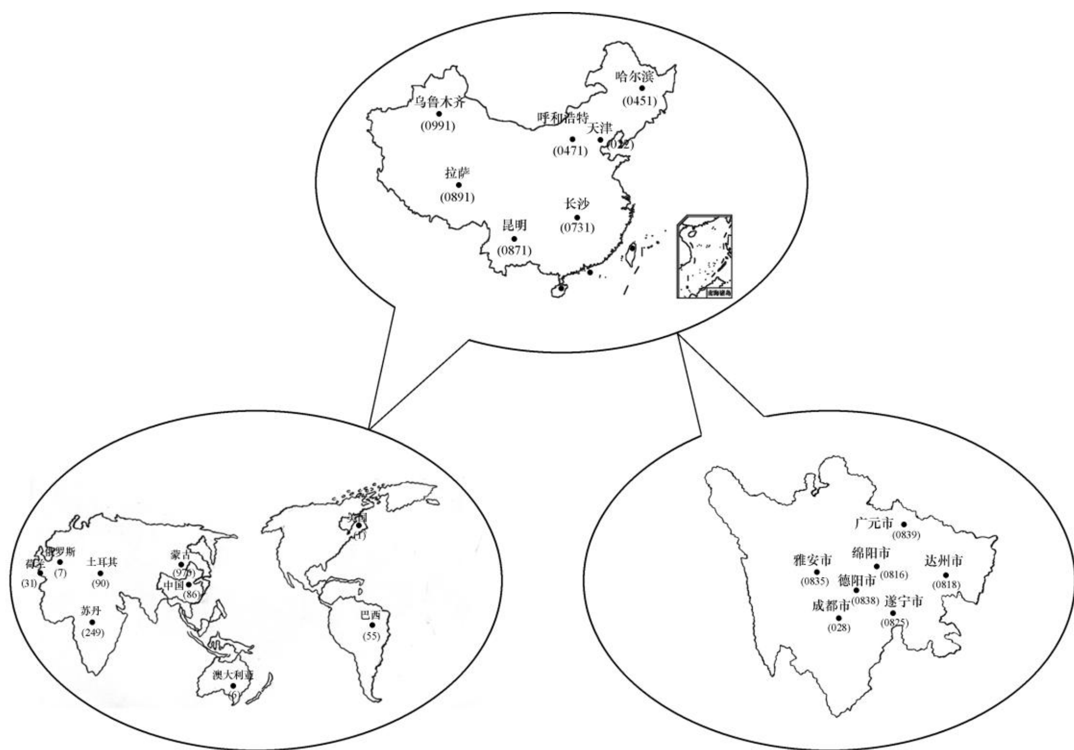


图 5-4 电话号码分配图

然后，每个城市都把号码分成“块”，每个块分属不同的地区。比如北京的号码，我们可以把 11××××××（以 11 开头的所有号码，11 称为“前缀”）分配给海淀区，12××××××（以 12 开头的所有号码）分配给朝阳区，等等。这样分的好处是简化路由表的长度。比如你把 11 和 12 开头的号码打乱分给两个区的终端，如果一个电话从朝阳区的交换机进入北京的网络，来寻找 11234567 这个终端，而这个终端在海淀区，那么这个号码在朝阳区的交换机上必须有条路由，**11234567 C1-2-3**，也就是说，要到达 11234567，必须从 C1-2-3 这个端口出来。如果另外一个号码 12345680 也在海淀，朝阳区的交换机就要增加这么一行路由：**12345680 C1-2-3**，也就是说，要到达 12345680，也必须从 C1-2-3 这个端口出来。

这样太复杂啦！海淀区每增加一个终端，就要在朝阳区的交换机上增加一个路由条目。而如前文所说，11 前缀分配给海淀，12 前缀分配给朝阳，问题就简化了很多。比如上例中的情况，只需在朝阳交换机上设置这么一条路由就够了：**11×××××× C1-2-3。**

其实国家代码、区号起到的作用和终端号码前缀的作用是一样的。在同一个国家，号码具有唯一标识，在一个城市，号码也具有唯一标识。如果在不同的国家，有可能存在除了国家代码不同，号码其他部分相同的情况，如果国家代码相同、地区代码不同，也可能出现不同地区拥有相同的号码的情况。



这和门牌号是非常相似的。我们去某个朋友家，朋友把地址告诉你，你肯定不会先去查看他的具体楼层，而是先看属于哪个城市、哪条街道、哪个小区，然后再看具体的楼层和房间号码，这样才能快速找到朋友家。只是通信技术中的地址（号码）更加规范和严格，稍有分配错误，就别指望系统有自恢复能力。从这个角度讲，机器的特点是，很笨但很可靠。接下来介绍以太网的寻址。



以太网内的寻址

在一个以太网内，连接了几台到几十台主机。要把信息从 A 主机送到 B 主机，一般都通过 IP 层作互通。但是对于一台主机而言，其底层的硬件和 IP 地址并没有直接关联，也就是说，一个 IP 数据包从 A 传送到 B，B 并不能通过 IP 地址匹配的方式识别自己是不是这个包的目的地地址，而是要通过底层硬件来匹配。那么底层硬件知道什么呢？硬件只知道 MAC 地址——很多时候，MAC 地址被称为“硬件地址”。MAC 这个名词的英文全称 Media Access Control，是指“媒体访问控制”。对于初学者，要理解什么是“媒体访问控制”的确有些难度，你只要把它理解为信号在通信线路介质传送中一种最基本的管理和控制能力即可。研究传送介质的管理和控制，距离“业务”还很远。

以太网的每一个节点有全球唯一的 48 位地址，这个地址是由 IEEE 组织管理的。网卡制造商将 MAC 地址烧录到每一块网卡里。MAC 地址就像身份证号码一样具有唯一性。

我们看一下老杨这台计算机的 MAC 地址吧！如图 5-5 所示，在 Windows 上运行 cmd，在 DOS 界面下输入 Ipconfig –all，Physical Address 下面就是这台计算机网口的 MAC 地址：00-1B-38-8A-A4-A1。

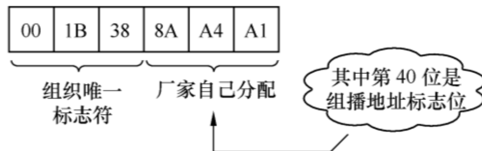


图 5-5　MAC 地址的含义

MAC 地址确定，“门牌号”就编好了。继续讨论数据帧寻找目的地 B 的过程。首先，主机 A 发送一种叫做 ARP（“地址解析协议”，我们在第 4 章介绍过其帧格式）的以太网帧，这个帧包含 A 的 MAC 地址、A 的 IP 地址、目的地 B 的 IP 地址，而把目的地的 MAC 地址设置为 00000000，意思是：本包要发送给所有局域网中的主机——这就像 A 要送礼物给 B，但是只知道 B 的名字（IP 地址）却不知道 B 的住址（MAC 地址），那么这个 ARP 包的广播，就像 A 挨家挨户去敲门一样，它要寻找叫做 m.n.p.q 的主机。于是所有住户（主机）判断自己的名字（IP 地址）是否为 m.n.p.q。只有 B 发现自己的名字（IP 地址）是 m.n.p.q，于是 A 就记下了 B 的门牌号码（MAC 地址），以后 A 和 B 之间的礼尚往来，就不需要再去挨家敲门了，如图 5-6 所示。

MAC 地址和 IP 地址的映射关系，被每台主机不断增加和更新着，就成了“地址映射表”。当然，每次的添加或更改表项的工作都被赋予一个计时器，这使得这种对应关系能够存储一段时间，如果在计时器到时之前没有再次捕捉到更新，该表项将被删除。也就是说，主机的 MAC 缓存是有生存期的，生存期结束后，将再次重复上面的过程。

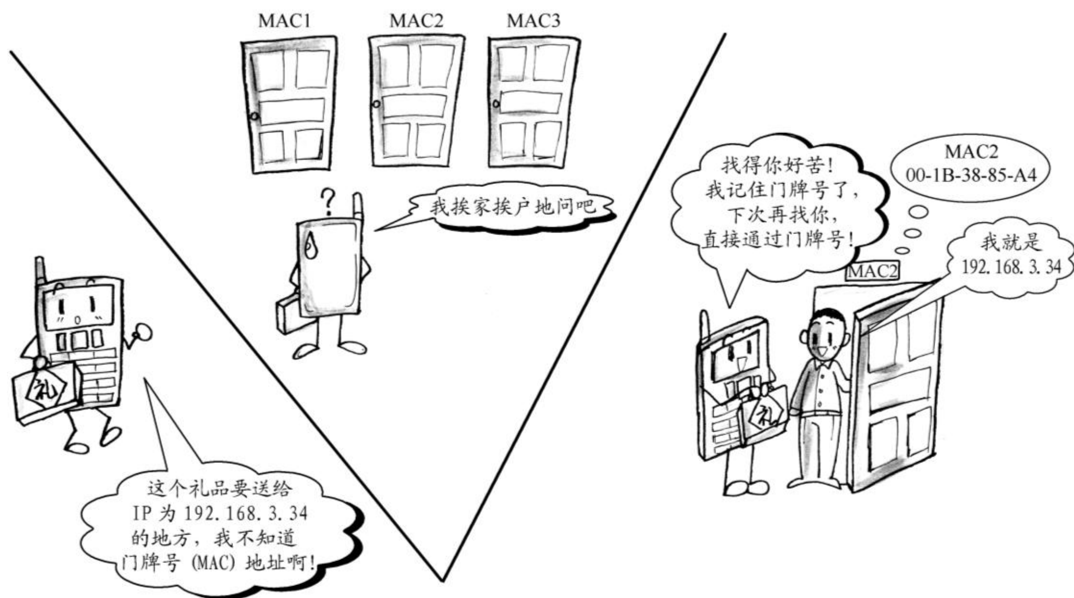


图5-6　MAC地址寻址

当局域网的主机通信量增大、主机数量进一步增大，通信效率将会大幅度降低。这很好理解。任何一个会议，如果没有主席控制，几千个人——他们都文质彬彬很有礼貌，他们都有条不紊地遵守纪律，势必也需要很长时间才能讨论清楚任何一个议题。很难想象这样的会议会有什么好的效果！一般这类会议的解决方案是设置几个分会场，每个分会场分别讨论，然后汇总。而以太网技术中，可以把所有主机分为几个组，每个组采用桥接的方式连接，每个组，就被称为一个“网段”，而连接主机组的设备被称为“网桥”。注意，一个网段的IP地址，必须是同一个子网下的！在现实生活中，网桥可以是一台独立的设备，也可以是一段链路层的线路，比如前文我们介绍过的帧中继电路，它就可以用于连接局域网，当然也可以连接几个局域网的网段了。

想象一下以太网中熙熙攘攘的热闹景象吧，各种类型的以太网帧川流不息，找“路”的，发“货”的，忙得不亦乐乎。但是以太网有一些基本规则，比如只有格式完整的数据包才能从一个网段进入另一个网段；再比如冲突和数据包错误都将被隔离到本网段（古人说得好，“家丑不外扬”么）。通过记录、分析网络上设备的MAC地址，网桥可以判断它们都在什么位置。这样，它就不会向非目标设备所在的网段传递数据了。

早期的网桥要检测每一个数据包，因此同时处理多个端口的时候，数据转发相对HUB来说要慢。1989年网络公司Kalpana发明了世界上第一台以太网交换机。以太网交换机把桥接功能用硬件实现，这样就能保证很高的数据转发速率。

在同一个网段内的寻址问题解决以后，我们将着手讨论不同网段的IP寻址，这就是常说的“IP网寻址”问题。





IP 网的寻址

IP 网寻址是 TCP/IP 中的精华，它简单、灵活、开放、实用。从 IP 地址规划开始，IP 寻址就开始了一套严格的规划，路由和交换的基本原则、DNS、NAT 的应用等，无不体现着人类智慧！

1. IP 地址规划

IP 的地址编码比 MAC 地址复杂。要了解 IP 地址的规划，就必须先学习二进制。IP 网和 PSTN 的建设主体不同，地址规划和寻址方式差异也很大。互联网是全球最大的 IP 网，它的地址规划，是由全球唯一的 IP 网地址管理机构——互联网名称和数字地址分配机构（ICANN）来负责的。

注意，IP 网络中，所有的终端都应该有 IP 地址，而网络上的路由器和带路由功能的交换机，一般情况下每个路由端口[1]也都应分配 IP 地址，这一点和 PSTN 不同。还记得吗，PSTN 中，程控交换机是不分配电话号码的。

IP 地址是一个 32 位二进制数字，理论上从 32 个 0 到 32 个 1，一共 2^{32} 个地址。如果我们用二进制表示 IP 地址，那将非常繁琐，并且不容易记忆和书写。办法总比困难多。于是人们用 4 段数字表示，每一段就是 8 位二进制数，用十进制表示就是 0～255。一个 IP 地址可以用如下形式表示出来：

A.B.C.D

上面的 A、B、C、D 分别是 0 到 255 中的任何一个十进制数字。但是我们经常见到的 IP 地址，往往后面带着一个以 255 开头的另外一组数字，比如一个 IP 地址是：

211.99.34.33

255.255.255.248

这才是完整的某台主机的 IP 地址描述。它分为两个部分，第一部分是我们常说的 IP“主机地址”，后面的叫做“子网掩码”，用来标识该 IP 地址所在的子网（大部分是局域网）网段有多大。有了这个规范的 IP 地址，你甚至能计算出这个子网的网段是从哪个地址开始，到哪个地址终止。这就像做自我介绍——“我叫老杨，我来自北京”一样。

在 IP 地址中，采用子网掩码，其实就像一个国家要设置省（州）、市、县（区）、乡、村一样，而不是直接给每家每户设置一个没有范围可供检索的门牌号。这样做的目的，就是要简化管理，提高查询的效率。

比如上述的例子，211.99.34.33 是从 211.99.34.32 开始到 211.99.34.39 结束的整个子网网段中的一个 IP 地址。该网段的第一个 IP 地址 211.99.34.32 叫做“子网地址”；最后一个 IP 地址 211.99.34.39 叫做“广播地址”。

怎么计算出来的呢？下面给出简单的算法。

假如子网掩码是 M.N.P.Q，你可以套入这么一个公式：$(256-M) \times (256-N) \times (256-P) \times$

[1] 路由器的每个接口可以是一个端口，也可以被切分成多个“逻辑端口”。比如一个信道化 E1 接口按不同时隙分成多个组，每个组可设定为一个“逻辑端口”。

(256−Q)，得到的结果，即是这个网段一共有多少 IP 地址。在本例中，(256−255) × (256−255) × (256−255) × (256−248) = 8，那么你就知道这个网段一共 8 个 IP 地址。

再看看这个 IP 地址 211.99.34.33，因为我们已经计算出它所在的网段一共有 8 个地址，所以你只要把最后一个小圆点后面的数字从 0 到 255 分组，每 8 个连续的地址编号作为一组，看 33 在哪个组里面即可。0～7 是第 1 组，8～15 是第 2 组，依次类推，32～39 是第 5 组，而 33 正在 32～39。我们一般说的“网段”，就是指这样的“组”。于是得出结论，211.99.34.33 在子网地址为 211.99.34.32、掩码为 255.255.255.248 的网段中。

如果在书写 IP 地址的时候，只写地址，不写子网掩码，就无法判断这个地址属于哪个网段。就好比你只知道你朋友家的门牌号和所在楼的单元号，而不知道他住哪个区的那条街，这样你是无法找到朋友家的。子网掩码还有一种简单的书写方法，就是在 IP 地址后面加上“/n”，如果你知道这个网段有 X 个 IP 地址，假设 $2^Y = X$，那么 $n = 32 - Y$。比如上面例子中的网段有 8 个 IP 地址，$2^3 = 8$，那么 $n = 32 - 3 = 29$；上述例子的 211.99.34.33 就可以表示为：

211.99.34.33/29

互联网上使用的 IP 地址，被人为地分为 A 类、B 类、C 类、D 类和 E 类共 5 种，如表 5-1 所示。

表 5-1　IP 地址类别

类　别	地 址 范 围
A	0.0.0.0～127.255.255.255
B	128.0.0.0～191.255.255.255
C	192.0.0.0～223.255.255.255
D	224.0.0.0～239.255.255.255
E	240.0.0.0～255.255.255.255

A 类、B 类和 C 类是最常用的单播 IP 地址，D 类地址用于组播，E 类地址被保留用于扩展和实验开发与研究。还有一些地址有特殊功能，如下说明。

- 0.0.0.0/0，未知网络，通常默认保留，常用于代表“缺省网络”，在路由器表中用于描述“缺省路径”。缺省路径的意思是享有最低优先级，在没有特别定义的情况下，IP 数据包会按照该地址所定义的路由表项进行转发。
- 127.0.0.0/8，表示回环地址和本地软件回送测试之用，保留而不分配。
- 255.255.255.255/32，有限广播地址。

我们经常在公司里配置自己计算机的时候，用到的却是上面没有规定的一些地址，比如 192.168.3.1，就不属于上述任何一类。这是为什么呢？原来，还有一种地址叫做“私有 IP 地址”，它们也被分为 3 类，如表 5-2 所示。



表 5-2　　私有 IP 地址空间

私有 IP 地址	A 类	10.0.0.0～10.255.255.255 （/8 或者 255.0.0.0 子网）
	B 类	172.16.0.0～172.31.255.255 （/16 或 255.255.0.0 子网）
	C 类	192.168.0.0～192.168.255.255 （/24 或 255.255.255.0 子网）

这 3 个 IP 地址段不会被互联网的公用服务器使用，而是在企业内网里使用。怎么理解呢？你到 A 公司，可能某台主机的地址是 10.1.1.30/8，那么你到另外一个公司 B，很有可能另外一台主机也被分配了 10.1.1.30/8 的 IP 地址。

各位读者，不管你是否参与通信产品的技术类工作，请记住上述的 IP 地址分类，互联网已经渗透到我们生活工作的各个角落，而对 IP 技术而言，地址规划是互联网的基础。学会它、掌握它，你才能更加熟练地应用它。

对于二进制学得不太好的人，可以借助一些不错的小软件计算 IP 地址，比如 SubNet Masks，可以帮助你轻松理解和计算 IP 地址。

2. DNS——互联网上的大翻译家

太棒了，我们终于可以通过 IP 地址访问互联网上的任何主机了！我们只要想访问它，就记住它的 IP。可是，这些数字真的让人头痛！有没有更好的方法呢？比如，用一串好记忆的名字来替代这些数字组成的枯燥的 IP 地址，岂不是更方便？只要你在 IE 浏览器里面输入这些名字就能够访问服务器，这样多方便啊！这个名字就叫做“域名”。

域名类似于写信时在信封上的地址，如城市名、区名、街道名和门牌号等，有一定的层次。域名解析体系把地址自左向右分成几段“根域”，通常是分为 3～4 段，分别用字符表示主机名、网络名、机构名和最高域名。其中，最高域名也可称为“第一域名”，一般是代表国家或地区的名称，比如 cn 代表中国，uk 代表英国，us 代表美国，等等。美国是互联网的发源地，所以美国的许多单位和组织都采用国际顶级域名，而其他国家一般都用国家代码作为第一级域名。机构名称称为“第二级域名”，通常是代表组织或城市名，例如，com 代表商业组织，edu 代表教育机构，gov 代表政府部门，org 代表社会团体等；我国的省市名也属于这一级，例如 bj 代表北京，sh 代表上海，gd 代表广东等。1999 年国内出现了“中文网址”。

我不说大家也能猜出来，域名和 IP 地址肯定是有对应关系，网络上一定有一个机构能够把这些“域名”翻译成枯燥的 IP 地址。事实也是如此！互联网“聘请”了一个翻译，叫做“DNS 服务器”。

这样的翻译工作并不容易，因为翻译的工作量大，工期还很紧，从客户角度出发，这个翻译过程只能以 ms 计时！DNS 是一个大型分布式数据库，存储了互联网上所有已经被确认域名的主机和 IP 地址以及它们的对应关系。每个域名都配备主、辅两套服务器存储上述对应信息。而全球还有 13 个处于顶端的“根服务器”，存储了所有授权域名服务器的列表。

好，最后一个问题，域名是由谁管理的？还记得我们在IP地址规划中曾经提到的那个全球唯一的IP网地址管理机构——互联网名称和数字地址分配机构（ICANN）吗？对，就是成立于1998年10月，集合了全球网络界商业、技术及学术各领域精英的非盈利性国际组织，负责IP地址的空间分配、协议标识符的指派、通用顶级域名（gTLD）以及国家和地区顶级域名（ccTLD）系统以及根服务器系统的管理。真可谓“一网之下，亿众之上”的强权机构！

3. IP路由

IP地址的规划，让整个IP网络有了行政区划和门牌号码。一个IP数据包从一台主机出发，要达到另外一台主机，这就需要“路由”了。严格地说，不同网段之间的IP数据包的传送被称为“路由”。如果你要把包裹寄给上海的亲戚，那么你需要通过邮局走复杂的“邮路”，而如果你只想给你的邻居送圣诞礼物，你就直接送过去好了，根本没必要经过邮局。IP的路由就类似邮政中的“邮路”。

进入IP网的IP数据包，就像一个刚从外地来访友的人，他手里握着朋友的地址，在熙熙攘攘的城市边缘，不知道前面等待他的是什么。IP数据包和这个人一样，他知道自己的目的地，却不知道如何到达这个目的地。这么多出口，走哪条呢？路由器是个诚实的老者，它问IP数据包：你从哪里来？要到哪里去？IP数据包从自己的分组结构里取出自己的出发地和目的地，路由器经过判断，会告诉它，你要从第5个出口出去！IP数据包根据老者的指示离开这台路由器，到达下一个路由器，继续上述过程；如此反复，直到它到达了自己的目的地。这时读者就明白了，原来，路由器会告诉IP数据包怎么选择到达目的地的路啊！是的，的确如此！但路由器是根据什么来指路的呢？奥秘就在于每台路由器都存储着一张路由表，这张表中的内容会正确地指引每个IP数据包前进的道路！

IP路由的技术原理，就是将任何一个IP数据包的目的IP地址取出，与路由表对照，定位出口在哪里，并将IP数据包输送到该出口上去。当然，如果该输出端口为帧中继端口，那么IP数据包必须按照相关规范封装成特定DLCI值的帧中继帧格式，从该端口传送出去。

现实存在一种状况，在路由器的路由表项中，一个目的地地址可能有多条路径可供选择。读者会说了，“条条大路通罗马”，可以理解啊。别急，一个IP数据包进入路由器，路由器告诉它，“兄弟，你要到罗马，这有多条路，你随便选一条吧！”IP数据包是没有智能的，如果让“非智能体”自己选择出路，它只有一个结局——迷失方向！虽然路由器指出了到罗马的多个（最多8个）出口，但是就某个特定IP数据包而言，究竟选择哪个出口，权力依然在路由器。路由器的组织相当严密，会让目的地是罗马的IP数据包按某个规则（其实是有很多规则的）从不同的出口出发，比如第1个包从端口1出去，第2个包从端口2出去……也就是说，对于某个特定的IP数据包，路由器只会给它某个确定的出口，如果其端口在同一网段内，则路由器会发生混乱，如图5-7所示。这就是路由器的“转发”机制，而这种转发机制，同时也实现了“负载均衡”。

看来，有了路由表，就像正在城市边缘迷茫的年轻人拿到了地图一样，终于有办法找到城里的亲戚了。看来这张路由表太重要了！爱刨根问底的读者又会问新的问题了：路由器是如何获取路由表的呢？下一节告诉你！



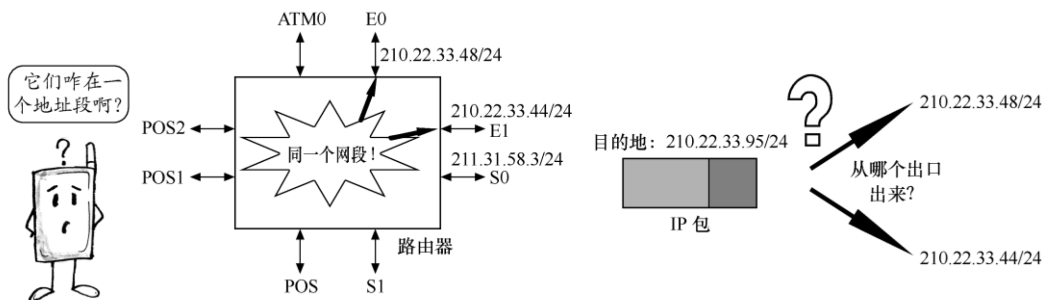


图 5-7　路由器的两个端口在同一个网段内，路由会发生混乱

4. IP 路由协议

在 PSTN 里，每台交换机都存储着一张路由表，这张表，是人为输入的。整个 PSTN 是一个完全可管理的、可控制的、分层的网络。但是 IP 网则不同，它不是一个自上而下管理的网络，而是一个庞大的分布式系统。IP 地址所处的地理位置根本没有统一的规律可以遵循，不像电话号码那样携带国家代码、区号等信息。所有路由节点都人为地设置路由表是不可行的。最好有一种办法，能让每一台路由器“自动”获取路由表。

这种办法，IP 专家已经替你规划好了——使用 IP 路由协议！换句话说，IP 路由协议就是路由表获取和建立的机制。在第 11 章，我们会专门介绍各种 IP 路由协议，如见 RIP2、OSPF、IS-IS 和 BGP。

5. 地址单播、组播和广播

前面我们介绍过根据信息目的地的类型，通信方式分为单播、组播和广播。在 IP 网络中，它们都有相关的实现方案。

IP 网大部分应用都是单播，而组播的应用目前正在兴起。

在 IP 网络中，广播地址是每个网段的最后一个地址。比如前文所举的例子：

211.99.34.33
255.255.255.248

这个 IP 地址属于 211.99.34.32～211.99.34.39 地址段。这个地址段的第 1 个地址 211.99.34.32 是“网段地址”，不能用来标识任何一个主机，而是整个地址段都以它命名。信息源要发送信息给这个地址段的所有主机，就要把“目的地地址”填写成广播地址：

211.99.34.39
255.255.255.248

6. TCP/UDP[2]的端口

在网络技术中，端口（Port）这个词经常会被初学者混淆。TCP 的“端口”与 HUB，交换机、路由器的物理接口没有直接关系，它是特指 TCP/IP 中逻辑意义上的一种特殊“地址”。

如果把 IP 地址比作一间房子，端口就是出入这间房子的门。真正的房子只有几个门，但

[2] TCP，传输控制协议；UDP，用户数据报协议，都是第 4 层通信协议。



是一个 IP 地址的端口可以有 65 536 个之多！端口是通过端口号来标记的，端口号只有整数，范围是 0～65 535。

端口有什么用呢？我们知道，一台拥有 IP 地址的主机很可能同时提供许多服务，比如 Web 服务、FTP 服务、SMTP 服务等，这些服务完全可以通过一个 IP 地址来实现。那么主机是怎样区分不同的网络服务呢？显然不能只靠 IP 地址，因为 IP 地址与网络服务之间是一对多的关系。实际上是通过“IP 地址+端口号”来区分不同的服务。

需要注意的是，端口并不是一一对应的。比如你的电脑作为客户机访问一台 WWW 服务器时，WWW 服务器使用 80 端口与你的电脑通信，但你的电脑则可能使用 3457 这样的端口。

按对应的协议类型分，端口有两种：TCP 端口和 UDP 端口。由于 TCP 和 UDP 两个协议是独立的，因此各自的端口号也相互独立，比如 TCP 有 235 端口，UDP 也可以有 235 端口，两者并不冲突。

固定端口被称为“众所周知的端口号”，范围 0～1023，其中 80 端口分配给 WWW 服务，21 端口分配给 FTP 服务等。我们在 IE 的地址栏里输入一个网址（比如 www.sina.com.cn）时是不必指定端口号的，因为在默认情况下，WWW 服务的端口号是 80。

使用其他端口号的，则应该在地址栏上指定端口号，方法是在地址后面加上冒号“:”（半角），再加上端口号。比如使用 8080 作为 WWW 服务的端口，则需要在地址栏里输入：

www.sina.com.cn:8080

但是有些系统协议使用固定的端口号，不能被改变。比如 139 端口专门用于 NetBIOS 与 TCP/IP 之间的通信，不能手动改变。

动态端口的范围是 1 024～65 535。之所以称为动态端口，是因为它一般不固定分配某种服务，而是采用动态分配的方式。当一个应用程序需要网络通信时，它向主机申请一个端口，主机从可用的端口号中分配一个供它使用。当这个程序关闭时，同时也就释放了所占用的端口号。

7. IPv6——让 IP 地址枯竭成为历史

应该说 IP 寻址在技术原理上是完美和可靠的，这也成为互联网蓬勃发展起来的主要支撑力量。然而令所有专家们始料不及的一件事情发生了——互联网发展如此之快，以至于……以至于，门牌号不够用了！！！

我们来看看，IP 地址一共有多少个？256^4，约 42 亿个！仿佛大概可能也许是足够了吧？前面老杨讲过，其中一部分属于私有地址，还有相当一部分被定义为网络标识、广播地址，真正可给终端用的 IP 地址可谓“多乎哉，不多也”！还有一些事情雪上加霜！互联网起源于美国，美国人“近水楼台先得月”，ICANN 将大部分 IP 地址留在了美国，这让全世界绝大部分国家的 IP 地址都遇到严重枯竭的问题！尤其是发展中国家，如中国和印度。我国目前只有不足 4 000 万个地址！与其他很多事物类似，这势必造成很多事实上的不平等。要知道，IP 地址数量如果不足，会大幅度增加地址转换设备的投入。很多资源看似“虚幻”，其实很真实，IP 地址就是如此；有些资源看似很“真实”，其实很“虚幻”，就好比某人向公众出售的月球上的土地。

幸运的是，方法总比困难多。专家们开始琢磨怎么改变这种状况。当然，即使不是专家，也



能想到解决IP地址枯竭问题最直观的方法就是增加地址的长度，就像当年5位数的电话号码满员，就增加 1 位，再不够，再增加。按照这个思路，一个新的技术出现了——IPv6，而原有的 IP 技术被称为 IPv4。IPv6 的本意再简单不过了：原来是由 32 位地址组成，现在扩展到 128 位。这似乎“小小”的改动，让 IP 地址增加到 2^{128} 个！这个数字太庞大了！除了地址大幅度增加，IPv6 还增强了组播能力、加入对自动配置的支持能力，并提高了安全性。这么多地址怎么用呢？我们别关心它多了怎么办，只要够用且不麻烦就 OK。但 IPv6 在部署过程中还真遇到了麻烦。

诚然，IPv6 让很多严重缺乏 IP 地址的国家欢呼雀跃，但其市场进程并没有预想中那么快。首要原因，就是原有设备的再利用问题。全球那么多已经在应用的、尚不知 IPv6 为何物的路由器、交换机、主机怎么办？能更新软件支持 IPv6 的还好说，那些不能通过软件更新支持的，总不能把它们全都抛弃吧？IETF 专门成立了一个研究如何部署此过渡过程的研究小组，已经提交了各种演进策略草案，并力图使之成为标准，比如双栈策略、隧道技术、隧道代理、双栈转换、协议转换等技术，它们各有各的优点和缺陷，目前还没有哪一个能成为大家公认的过渡技术。人人都知道，如果 IP 地址能够走出这一小步，互联网将走出一大步，但是这毕竟是个循序渐进的过程！

正是由于过渡周期很长，很多专家们继续兴致盎然地在 IPv4 上辛勤耕耘，努力延续 IPv4。随着时间的推移，人们渐渐习惯了节约使用 IPv4 地址的方式，大量使用私有地址和 NAT（这是下一节的话题）。但是可以预见，要从根本解决 IP 地址匮乏问题，还要 IPv6 出马！当前 IPv6 的研究和试商用正如火如荼。

8. NAT——网络地址转换

在 IPv6 大规模商用前，如何解决 IP 地址短缺问题？互联网的缔造者和设计者们提供了一个特殊机制：让局域网的计算机关在一个门里面，谁要出去，在门口领一张“出门条”——公用的、合法的 IP 地址；而局域网内的每台计算机，尽量使用私有 IP 地址。这就是 NAT，一种将 IP 地址从一个编址域映射到另外一个编址域的方法。

NAT 英文全称是“Network Address Translation”，中文意思是“网络地址转换”，顾名思义，它是一种把内部私有网络地址（IP 地址）翻译成合法网络 IP 地址的技术。前文我们讲过，在 IP 地址规范中，10.*.*.*、172.*.*.8、192.*.*.*被定义为私有 IP 地址段，企业可以利用这些 IP 地址规划自己的局域网；在互联网上的公用计算机，是不存在上述地址段的 IP 地址的。

我们可以把一个使用私有 IP 地址的局域网想象为一个院子，院子里有很多屋子，每个屋子有它的门牌号。这个门牌号是本院子内部编号，比如 M、N、P、Q。而这个院子的大门则有一个城市统一规定的门牌号，比如西大街 5 号院，这就是地址转换环节。任何人出门，都要告诉别人自己来自西大街 5 号院，而不能说自己在 N 号居住——在这个城市里，存在无数的大院，很多大院可能都有 N 号！

根据不同应用环境，NAT 机制分为 3 种类型：静态 NAT、动态地址 NAT、网络地址端口转换 NAPT。它们应用于不同需求的场合，如图 5-8 所示。

其中静态 NAT 是设置起来最简单，也最容易实现的一种。内部网络中的每个主机都被永久映射成外部网络中的某个合法的地址，就像院子有 4 个编号，而每个编号都对应院内的每



个屋子。内外地址数量一样，很显然是无法解决 IP 地址紧缺问题的。动态地址 NAT 则是在外部网络中定义了一系列的合法地址，采用动态分配的方法映射到内部网络。NAPT 是把内部地址映射到外部网络的一个 IP 地址的不同端口上。

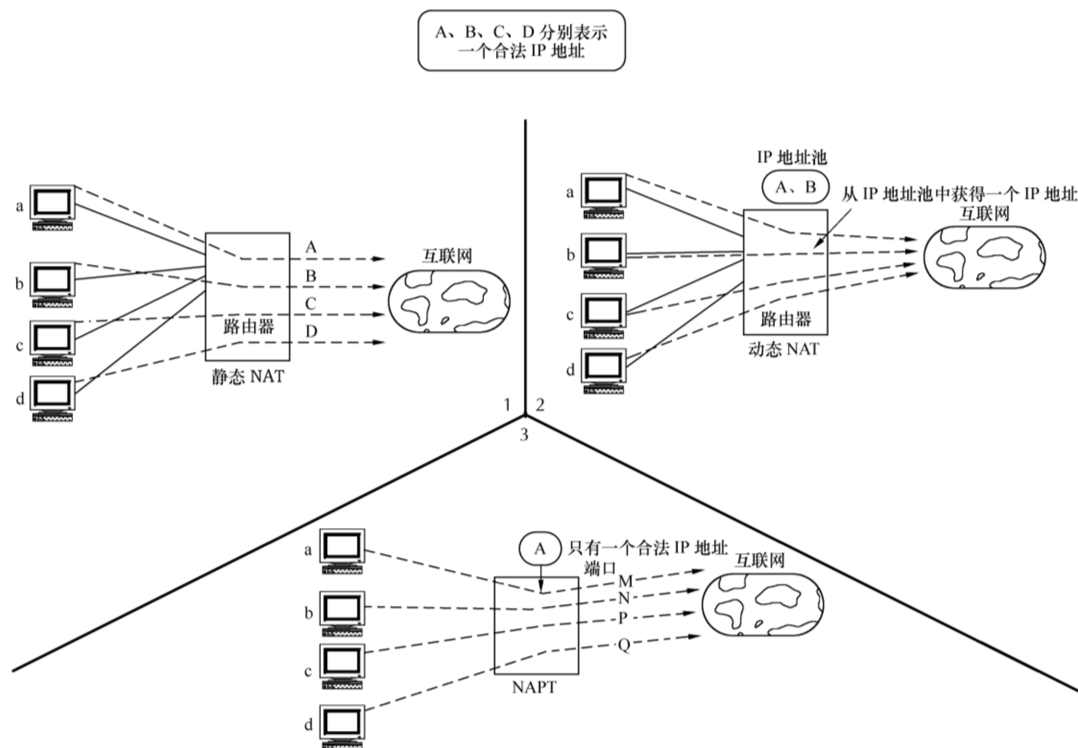


图 5-8　静态 NAT、动态 NAT 和 NAPT

那个发布 RFC[3]规范的 IETF 组织一直主张利用 IPv6 技术解决地址短缺问题，因此 IETF 虽然出版了几个与 NAT 相关的 RFC，但对 NAT 技术一直没有系统的标准化工作，尤其是媒体流的私网“穿越”问题，如 SIP 和 Mobile IP 就是 NAT 出现后设计的一些协议，都未考虑到 NAT 的穿越问题。最近，业界意识到互联网在短期内不可能过渡到 IPv6，而 IPv4 和 IPv6 将长期并存，NAT 以及 NAT-PT（NAT-协议翻译）将继续得到长期应用，还出现了 STUN[4]这样的定义 UDP 对 NAT 穿越方法的规范。NAT 相关问题也引起了 IETF 和 ITU-T 等相关国际标准化组织的关注。中国通信标准化协会 IP 与多媒体工作委员会也正在积极参与 ITU-T SGl6 的相关活动，加紧制定中国的多媒体业务 NAT 穿越标准。

---

[3] Request For Comment，请求建议，是 IETF 组织发布的格式化文档名称。

[4] 由 RFC 3489 定义，全称是 Simple Tranversal of User Datagram Protocol Through Network Address Translators，即 UDP 对 NAT 的简单穿越方式，它是一个轻量级的协议，其作用主要是允许应用程序确定在其本身和公共互联网之间是否使用了 NAT 和防火墙，并且判断出 NAT 和防火墙的具体类型，但是其本身并不提供对 NAT 的穿越方案。它允许许多应用程序通过现有的 NAT 体系进行工作，并且支持同时使用多个 NAT 的情况。





怎么会有这么多地址?

通信技术中最抽象的问题之一，就是到处都是“地址”。既然两台主机之间有了 MAC 地址，为什么还要设置 IP 地址？为什么用计算机上网浏览信息，还要用域名地址？看似简单的问题，其实要回答它还真的需要费一些口舌。

人最容易理解和接受的地址在最上层，比如在 IE 的地址栏输入 www.sina.com.cn，在电子邮件的收件人一栏写上 weiyi@ptpress.com.cn（本书责任编辑的电子邮件地址），这是人能看懂、理解、记忆的地址。

但是 www.sina.com.cn 这个名称的本质是什么？它是存放在某台或者某组服务器里面的一段信息。很可能多个服务器，每个服务器 IP 地址不同，但是却拥有相同的 www 地址，当你去访问这些信息，整个互联网会让你到距离你最近的那台服务器去找，因此 www 地址比 IP 地址更适合放在 IE 的地址栏中。

而当输入 www.sina.com.cn 之后，互联网的 DNS 会协助找到最适合你访问的那个服务器的 IP 地址，从而形成了你的计算机（也有一个 IP 地址）的 IP 层语言和对方服务器的 IP 层语言互通，获取信息。然而这背后的一切，应用互联网的人是感觉不到的。

如果你的计算机在局域网内部，你的计算机 IP 层发出的信息被准确发出，要通过该局域网的出口路由器。你的计算机需要告诉出口路由器：“我要通过你出门”，那么用 IP 层语言就不够了。因为在局域网里面，你怎么知道那个路由器在哪里呢？你需要把 IP 层语言包装成以太网能读懂的语言，寻找出口路由器并告诉它你要出门。在另外一端，信息服务器所在的局域网也是一样的。当信息经过 IP 网到达入口路由器，入口路由器也要把相关内容翻译成局域网能读懂的语言并送达服务器，反之亦然。

这样就很容易理解，两台主机之间要进行信息交互，信息内容被一层层地翻译成各个层面的语言（如图 5-9 所示），传递到对方后，再一层层翻译回来。这种翻译的过程其实是把原始信息拆包、解包的过程。而在每一层，都有特定机制保证传送的实时性、稳定性和完整性。



图 5-9　多层地址的问题

现实技术中，“层”的概念被创造性地应用。比如 IP 网，大家熟悉的 TCP/IP 架构，一般来说只有 5 层：应用层、传输层、IP 层、数据链路层（以太网居多）和物理层。每层都有各自的功能，也有各自的标准和协议。

国际标准化组织 ISO 定义了一套极其规范、不太实用的却又富含哲学意义的 OSI 架构，我们在下一章详细介绍。



第 6 章

Chapter 6

谈谈“优化”

“道可道，非常道”，“优化”最难“道”!

在建立了基本的通信基础架构之后，我们就可以打电话、接入互联网、发送传真、无线接入、QQ 聊天、发送邮件了。很多人认为，通信已经搞定了，还折腾什么呢？从表面上理解，业务已经实现了，万事大吉，大家就尽情享受通信带给我们的快乐吧！在现实生活中，我们知道这样的常识——要满足相同的需求，投入可大可小，建设可繁可简，无论做什么事情，都要充分利用资源，在这个地球上，资源永远是有限的。这就需要“优化”了！

“优化”蕴含在通信领域的每个细节里面，是对诸多技术体制、诸多工程实践的高度浓缩，它无孔不入、无处不在、见缝插针，又由表及里、由外至内、由浅至深。因此对“优化”的探讨很难有清晰的脉络。试图用分层的思想、分技术类别的思想都很难完整地展现“优化技术”的内在规律，也很难覆盖优化技术的每一面。因此老杨选择通信技术中最常用的技术和思想来做分析，以抛砖引玉，期待各位读者能够理解和掌握其中的规律。



处处都有“优化”在

有较真儿的说了，资源真是有限的吗？地球资源没有了，不还有火星么？可火星还没被充分挖掘出来供人类使用，而且即使火星开发成功，把火星上的资源运输到地球上来，成本得多高啊！那么我们所描绘的“优化”，对通信网络而言，就显得尤为重要；“优化”是通信中最为宽泛的主题，所有试图增加功能、增强性能、保证安全性、节省投资、提高利用率、减少错误、鼓励创新的技术和理念，都可以归为“优化”的范畴。要想充分利用对通信网的投资、减少浪费，就必须保证已经投资的设备充分发挥潜能。为此，人们进行了各种艰苦卓绝的努力，把优化融入到编码、复用、寻址、交换、传输、增值业务等各个环节中去。其实，也就是融入了通信技术的每一个细节中去。

满足通信需求最好的方式是无休止地叠加设备，而优化工作就是使通信网建设者将投入进行充分优化从而达到相同的目的。通信网络是由传送线缆和网络节点组成。网络节点或网络拓扑若不作好优化，再宽的光纤带宽，都无法满足人们对通信的需求，因为数据堵塞就发生在这些网络节点上。不信的话，可以想象在城市里，到处是超宽的马路，而十字路口却没



有红绿灯，交通状况会是什么样子。

“优化”类似于家庭里面的“理财”。你可以源源不断地赚钱，但是这样未必存款就会增加，更好的方式是你把所有资源有效地利用起来，在最值得消费的场合消费，在最值得投资的项目上投资，把拥有的资产运用在最恰当的场合，发挥最大的效能。

为了让整个通信概念更加清晰，整个行业具有更强的创造力，将通信网络分为若干“实体层”，每个层面分管不同的工作，相互之间拥有标准接口；几乎所有计算机通信类的书籍，都在首要位置把 ISO/OSI 的七层结构罗列出来，本书并没有这样做，因为老杨在开始学习计算机网络的时候，也是从 OSI 开始的，可是在继续学习的时候反倒更加糊涂了，因为无论是 IP、ATM 还是别的任何通信技术，都仿佛和 OSI 有或多或少的出入——它们总是少几层，还有的技术根本闹不清究竟在哪一层。以老杨的理解，初学者天生就是“举一反三”的高手，而且往往会在一个正确结论上“反”出 3 个错误结论。

为了保证资源有效利用、通信效率更高，复用技术被广泛应用，这是节约传输资源的重要技术。另外，如何减少传输损耗、用何种网络拓扑最适合人群的通信需求，这些都是通信专家的重要研究课题。

为了保证通信网络的正常工作，网络安全成为重中之重，虽然通信中并不存在“车匪路霸”，但是影响网络安全的人或者事物，其性质更为恶劣，破坏力也更强；对通信安全的威胁，有的是通信人能感知的，如造成通信中断、音质变差、等待时间长等；而有的是无法感知或很难感知的，如窃听、盗打、修改计费数据等，和网络安全有关的“优化”工作层次多、种类繁。

为了提高传输速率，通信网络经常采用压缩技术。压缩技术也是提升通信网承载能力，让通信网发挥更大效能的重要手段。

SDH 网的倒换技术，是通信网络优化性能、提高安全性的经典案例。SDH 就是凭借这一关键技术，长期占据传输领域的统治地位。

IP 和 ATM，孰优孰劣，我们通过对技术原理进行比较做出的结论恐怕和市场实际情况正好相反。不得不说，最有生命力的技术，一定有其深刻的哲理蕴含其中。IP 和 ATM 之争，即使在若干年后，依然会为通信专家们的规划提供宝贵的理论依据和实践经验。目前大量路由交换设备采用了 ATM 的设计理念（如固定帧长的硬件交换），但却是彻头彻尾的 IP 技术。

从数据网络综合角度考虑，MPLS 获得了广泛应用，无论从 VPN 应用、服务质量保障，还是“流量工程”角度讲，MPLS 都是 IP 网络优化的主流技术。

互联网的宽带似乎永远是不够用的，互联网加速技术 CDN 方兴未艾，P2P 技术更是被广泛应用……还有很多优化技术，它们都是基于基本通信功能的实现，不是“从无到有”，而是“从有到优”的实现手段。

总之，“优化”这一思想，贯穿于通信技术的每一个领域，融入了通信行业的每一个细节，很难说某个技术体制中，哪个协议或者标准属于“优化”的范畴，也很难说哪个技术就纯粹是“优化”型技术。



下面将列举通信技术中一些有代表性的技术规范和技术机理，通过对它们的分析，我们能够更加清楚地了解通信技术的优化环节是多么巧妙，多么有趣，多么耐人寻味！

这正是："天涯无处不芳草，处处都有优化在"！



分工和职责—— 通信分层结构

1. 为什么要分层？

网络通信要进行优化，就如一个公司混乱的管理要进行改革一样。我们首先思考一下一个企业最可能出现的管理混乱有哪些表现？

- 员工"越界"：如员工不经过部门经理，直接向公司总经理汇报工作；秘书经常到总经理处指责其对公司的未来规划缺乏想象力。
- 部门经理做"二传手"：如提交给总经理的汇报，是员工汇报的简单叠加；总经理给部门经理分配的工作，部门经理不加思索地推给某个员工。
- 两个部门之间职责不清：如市场部经理经常指责客服部员工 A，因为 A 没有按照市场部经理的要求向某个客户提供服务，而是把有限的时间给了另外一个客户，而这个工作是由客服部经理指派的；采购部经理要求市场部员工 B 在某个项目中必须向客户提供联想品牌笔记本，而实际情况是，客户要求必须使用 SONY 笔记本但采购部经理并不知情。
- 总经理一抓到底：布置任务跳过部门经理直接与员工沟通，而部门经理也经常布置任务给员工，部门经理无从了解员工的工作量，总经理也无法把控任务的进度。
- 公司与客户接口混乱：任何人都可以向客户随意承诺，而承诺出来的东西又无法兑现。

上述问题是很多管理混乱公司的常见表现。那么如何改变上述状况呢？不管你做多少培训，增加多少职业经理人，最终改变这种状况的，无非是以下几个举措。

- 分层：要把总经理——部门经理——员工的三层结构搞清晰。每层的职责范围明确定义：公司总经理负责公司战略和重大事务的处理；公司部门经理负责管理部门，公司员工负责具体事务处理。
- 明确层之间的关系：需要明确任何一个层面的人员，其与上下层的关系。明确谁向谁汇报，谁向谁分配工作。
- 对等层之间的关系：需要明确任何一个层面的人员，与对等部门或对等公司的关系（对等公司有可能是客户，也有可能是原材料供应方）。

这样，公司就形成了 3 个层次的机构，每个层次都与上下层次责权利清晰明了，对外业务接口统一，因此业务也开始顺畅。

通信网也必须分出层次（如图 6-1 所示），以保证各种网络技术能清晰地共存和良好地配合，并不断激励新技术的创新。通信网的分层与公司的组织结构很相似。加入通信网中的各个实体就好比是一个公司，比如路由器是一个通信实体，某个通信软件（如软电话和 MSN）是一个通信实体，网络游戏的服务器软件和用户端软件都是通信实体。这些网络实体必须满



足以下的分层要求。

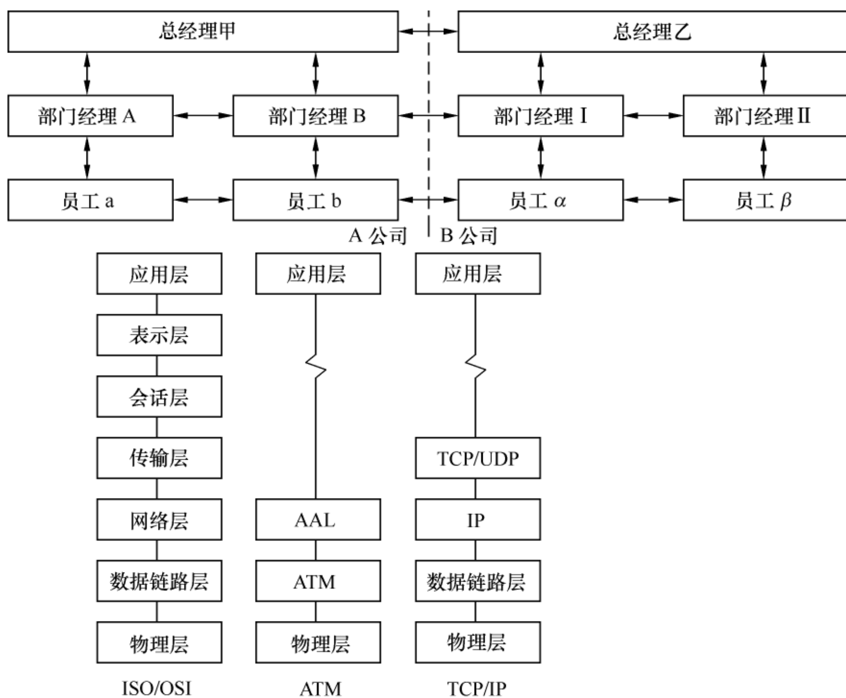


图 6-1　企业管理和 ISO/OSI

- 要分出若干层次，管理上类似的功能要放在同一层，在实现技术经常变化的地方增加层次，每个层次有自己的职责。
- 要明确每个层次与上下层的关系，层次之间的边界要合理，使层次间的信息流量尽量最小。
- 要明确每个层面与其对等层面的关系。

基于上述要求，ISO 建立了一套非常抽象的分层结构，这就是著名的 ISO/OSI（国际标准化组织的开放网络架构）。与其说这是一个通信标准，不如说是一种管理哲学。任何事物之间的联系都可以用 OSI 表示出来，虽然不是所有的事物都必须具备其所有的层面（通信网本身大部分实体也不具备其所有层面），但是这对我们分析事物是非常有帮助的。

两个通信实体可能友好合作，也可能不互相信任，但是它们必须能互相理解对方说的是什么。就像巴以冲突，他们可以打若干年的仗，但是必须都具有能互相理解的语言展开外交辞令，可以和谈、破裂，可以下战书、声明、抗议，如果没有统一的能互相理解的语言，那么一切将无从谈起。为了让两个通信实体保持最基本的沟通，在“层”的基础上，专家们定义了“协议”、“标准”和“规范”。

我们把这七层 OSI 结构与实现生活中的“说话”联系起来，有助于大家对 OSI 的理解。



2. 物理层

物理层就像人与人沟通中的能够互相听懂的"发音"。物理层解决最基础的传送通道问题，涉及建立、维护和释放物理链路所需的机械的、电气的/光学的、功能的和规程的特性等，如光缆如何抗衰耗、无线设备如何提高发射功率、为什么双绞线要"绞"起来并具备屏蔽层等。

3. 数据链路层

有了发音，才能有"字"或者"词"，对于说错的话，要尽快予以纠正，如果不能很好地纠正，就要把话重新说一遍。

接下来，我们开始考虑在物理层提供的按"位"服务的基础上，在相邻的网络节点之间提供简单的、以帧为单位传输的数据，同时它还负责数据链路不要拥堵，减少出错，出错了要想办法弥补。

4. 网络层

说话应该有目标、内容和语速，向谁说，说什么，以多快的速度说。网络层所干的工作，就是进行路由选择、拥塞控制和网络互连。对它的上级——传输层，它可以提供两种服务，一种叫做"面向连接"的网络服务，一种叫做"无连接"的网络服务——这有点像有轨交通和无轨交通。这两种网络服务有各自的特点，后文会专门讲述。两个人对话，网络层只负责找到倾诉对象、选合适的语言，并不关心对方是否认真听了以及是否听得明白。

5. 传输层

要保证别人听到你说的话，不能"自说自话"。

传输层的任务是向用户提供可靠的、透明的端到端的数据传输，以及差错控制和流量控制机制。由于它的存在，网络硬件技术的任何变化对高层都是不可见的，也就是说会话层、表示层、应用层的设计不必考虑低层硬件细节，因此传输层起到应用软件和底层硬件之间"承上启下"的作用。

所谓"端到端"，是相对链接而言的。这里读者们要记住，OSI 参考模型的第 4～7 层属于端到端的方式，而第 1～3 层属于链接的方式。有了"端到端"，也就有了流量控制的能力。如何你说话语速太快，看对方已经有些招架不住了，你就赶快放慢语速吧。

6. 会话层

说话要有开始、过程和终止。在不同的机器之间提供会话进程的通信。如建立、管理和拆除会话进程。你可能要考虑这个话是在大庭广众之下说还是专门对某个人说，或者是说一句等对方答复后再说下一句。

会话层还提供了许多增值服务，如交互式对话管理，允许一路交互、两路交换和两路同时会话；管理用户登录远程系统；在两机器之间传输文件，进行同步控制等。

7. 表示层

对于有些话要以悄悄话的形式，避免第三者听到，对于有的话，要简单明了，不要拖泥带水。表示层就处理通信进程之间交换数据的表示方法，包括语法转换、数据格式的转换、加密与解密、压缩与解压缩等。



8. 应用层

有了上面所列的网络层次，你已经把要说的话通过声带的振动，一字一句、清晰明了地地告诉了你的某个好朋友，并且保证他听到了，而且没有让第三者听到。

应用层就负责管理应用程序之间的通信。应用层为用户提供最直接的服务，包括虚拟终端、文件传输、事务处理、网络管理等。

应用层是 OSI 参考模型的最高层，低层所有协议的最终目的都是为应用层提供可靠的传输手段，低层协议并没有直接满足用户的任何实际需求。我们日常使用的电子邮件程序、文件传输、WWW 浏览器、多媒体传输等都属于应用层的范畴。

应用层是距离用户最近的层面，这时候 MSN 开始通话，网络游戏开始战斗，可视电话开始通话，会议开始，短信发送成功，邮箱接收到对方邮件……一切一切的通信应用都正在进行。

9. 是哲学，而非技术！

通信“层”的概念，让各种协议、规范、标准变得有所不同——它们更灵活但可控，更开放但不混乱，更清晰但不拘束。上面的论述会让一些读者觉得乏味，但是如果你能够紧密结合通信网络的一些实际应用，类比生活中的例子，你会发现其实枯燥中蕴含着无穷乐趣，你也会发现，其实分层是一种哲学而非技术。



一根线“掰”成几“瓣”用——复用技术

如果一根线缆只能传送一个业务流，浪费将非常严重，“N 平方问题”将使实施者陷入崩溃。最淳朴的思路就是，让一根线传送多条业务连接，这将大幅度节省资源。

“只有想不到，没有做不到。”复用技术诞生了。复用技术是电信网络的基本技术机理之一。专家们把复用技术分为“确定复用技术”和“统计复用技术”，如图 6-2 所示。

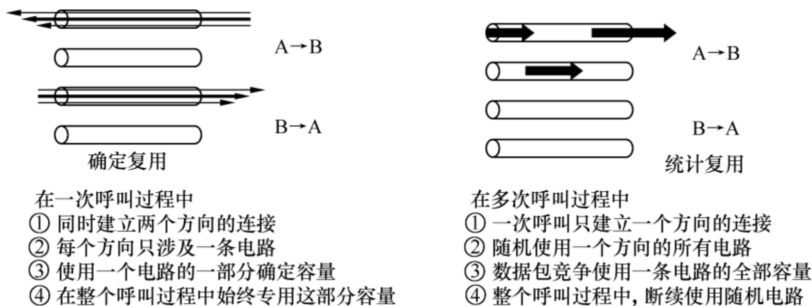


图 6-2　确定复用和统计复用

1. 确定复用

确定复用，是指将管线拆成若干部分（无论是用频率拆分还是用时隙拆分），每个部分确定由某条业务连接独占，各行其道，相安无事。以下都属于确定复用范畴：

- FDM；
- PDH；

- SDH；
- WDM。

确定复用技术来源于电话网，在一次呼叫过程中，同时建立两个方向的连接，每个方向只涉及一条电路，使用某条电路的一部分确定的容量，而在整个呼叫过程中，始终专用这部分容量。

2. 统计复用

统计复用，是指将管线不作确定的“拆分”，而是每条业务连接通过各自的标识号来做区分，各个业务连接根据自身需要来争抢资源，系统会定义争抢的优先级以及拥塞时的抛弃优先级。下列技术都属于统计复用范畴：

- PSPDN（X.25）；
- 帧中继；
- PPP；
- ATM；
- 以太网。

统计复用技术来源于数据网，支持双向对称、双向不对称、单向等各类业务，会因为多个信号竞争使用一条电路，因竞争而劣化传输质量，电路忙时利用率会比较高。

任何商品房都是“确定复用”的，任何人与房地产开发商签署合同后，唯一地享有该楼房的使用权；而任何公路都是“统计复用”的，只要交了养路费，任何人的车都可以占用道路，道路不属于任何一辆车或者一个车队，而是被全社会共同使用；当然，别以为这里的“抢占”就是互相厮杀各不相让，和交通类似，通过通信协议，这些“抢占”都表现得“很文明”。

通信技术符合哲学规律。竞争会带来节约，但是也会牺牲性能。这世界上的事，鱼和熊掌，很难“兼得”。



“排兵布阵”有讲究——网络拓扑研究

根据每种网络所提供的服务不同，可以采用合适的拓扑结构。在节约投资的情况下，合理的拓扑结构会更有助于尽可能多的用户从尽可能近的地方，尽可能快地获取尽可能丰富的信息。一个城市的道路，就是一种拓扑结构。城市道路，如立交桥、红绿灯、城市快速路、高速路、环岛、备用道、单行道等，如果设计得充分合理，不但能够减少交通事故发生率，提高整个城市的工作效率，还能够让城市更加整洁和规范。当然从人的因素讲，还能减少因堵车而带来的牢骚。网络拓扑就是对网络各个部件进行“排兵布阵”。合理的网络“阵法”，能够提高线路利用率、减少拥塞发生、延长通信设备使用寿命，并易于扩展。

一般的电信网，都会分为核心层、会聚层和接入层。在上述每个层次中，它们的“布阵方法”又千差万别。如总线型、星形、网状、环状、树形等，如图 6-3 所示。每一种类型都不是用“好”和“不好”来评价，而只能以“合理”和“不合理”来衡量。对于各个站点信



息发布比较均匀的业务，总线型更能满足需求，并且效率会很高；对于每个站点都需要向中心频繁发送信息的情况，星形结构效率会更高；网状结构适合于各个站点信息量大体一致、信息交互比较频繁的情况；而信息处理呈现传递型结构的，或者要对信息路径采取保护措施的，一般采用环状结构更加合理；若是复杂的多层管理机构，信息网络采用树形结构会更加有助于管理。

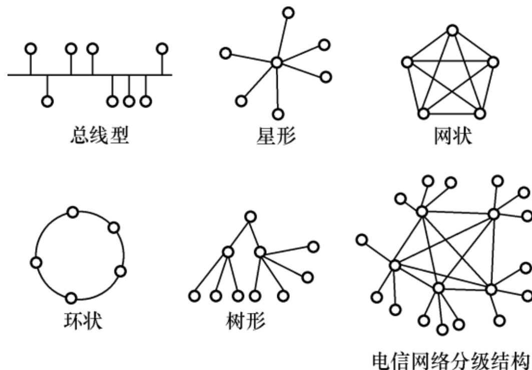


图 6-3　总线型、星形、网状、环状、树形网络拓扑

在这里注意，很多初学者把网络拓扑和线路拓扑混淆在一起。实际上，线路拓扑的形状并不能代表网络拓扑的形状。举例说明，城市里的光纤一般都呈环状分布，SDH 设备在环的几个节点处放置，由于 SDH 要做线路倒换，因此 SDH 网络一般也呈环状分布。如果在 SDH 设备旁边各放置一台 ATM 交换机，ATM 交换机则可能做环状分布、星形分布、树形分布等，如图 6-4 所示。

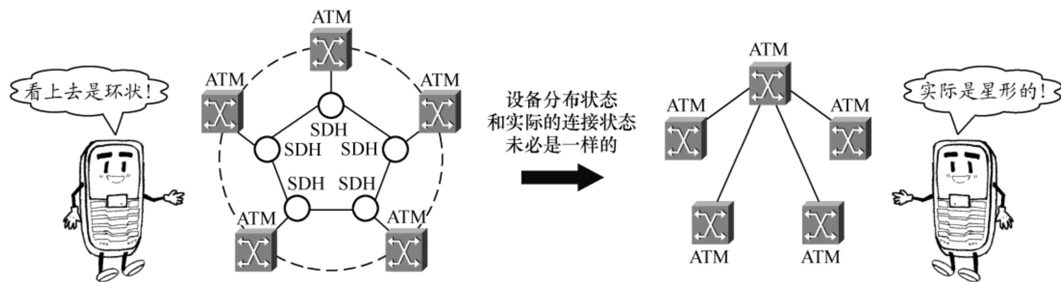


图 6-4　ATM 交换机环状分布、星形连接的例子

 开车还是坐地铁？——面向连接和非面向连接

传送信息所占用的通道，究竟是传送前就通过信令建立起来的，还是在传送过程中一站一站地向前推进而没有所谓的“连接”，根据这两种不同方式把通信分为“面向连接”和“非面向连接”。



1. 面向连接

在一次通信过程中，信令在需要通信的双方或者多方之间呼叫，利用网络资源建立起一条通道，并在这条通道上传递信号，在通信结束后关闭这一通道，这就是面向连接。最早的面向连接的技术体制是传统的 PSTN；接着，在数据网中也被广泛应用，如帧中继、ATM 等都是面向连接的传送。这就好比城市中的道路，如果有国际马拉松比赛在北京举办，最常见的方法是通过交警通知相关道路执勤民警，在赛程所经通路上实行“交通管制”，这种基于预先设定好的道路进行通信的方式就是“面向连接”的。

有连接的电路，电路拓扑确定、传输时延确定并可控。如果哪位读者断章取义，说实时性强的业务就用有连接的电路，那可就错了。让我们讨论完非面向连接的技术再下结论吧。

2. 非面向连接

在一次数据传送过程中，数据包逐节点传递，在每个网络节点上，根据数据包中的目的地地址，借助于网络节点的路由信息，选择通往下一个节点的通道；由于在数据传送前并没有预约带宽，因此在每个节点上，都需要进行“竞争”接入，并最终到达目的地。这就是非面向连接，也叫做无连接操作。

无连接的操作来源于传统数据网，传输时延不确定，传递过程不需要外界控制，如果不限制传输最大时延，只要尚存一条通道，数据包就能到达目的地。最典型的无连接网络是 X.25（PSPDN）分组网、IP 网和广播电视网。

3. 对两者的分析

其实，面向连接的操作就像是城市的轨道交通，地铁、轻轨、有轨电车，车辆在出发前就已经预设好所有的路线，并严格按照这个线路走，由于速度可控，线路确定，不存在堵车情况，因此到达时间可控，如图 6-5 所示。

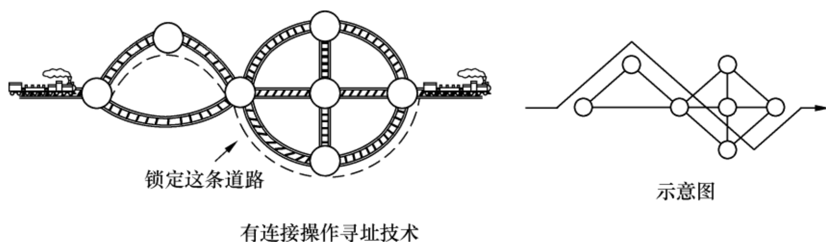


图 6-5　轨道交通图和面向连接的操作

而无连接操作则更像城市的公路交通，如图 6-6 所示。车辆在每个十字路口、丁字路口、岔路口都要判断如何行驶，左转、右转还是直行？它需要根据路标行进，而每个路口的路标都有通往任何目的地的指示。这些路标只会告诉你这个路口应该如何走而不会告诉你完整的到达目的地的路径。从出发地到目的地，路线长度未知，有可能存在红绿灯的等待，因此到达时间不可控，但是只要有一条路线存在，这辆车就能到达目的地。



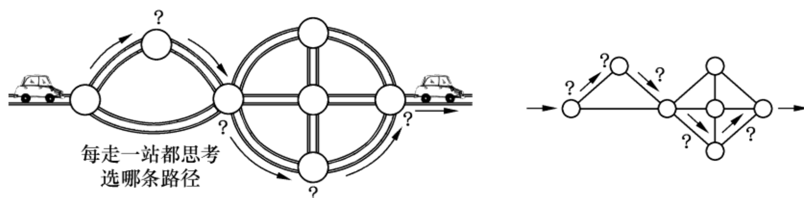


图 6-6　公路交通和无连接操作

当然，面向连接和无连接的操作比道路本身更复杂。面向连接的操作，在数据包发送前就已经将所有连接建立起来并将其中的网络资源占用了，而熟悉城市地图的人开车，只确定了路线，并没有实质性占用道路资源。

通信技术机制之间的优劣，很多都是面向连接和非面向连接两大机理之间的 PK。从表面看，面向连接的技术仿佛更吸引人，但是从网络的开放性角度而言，无连接的网络却更胜一筹。通信网发展的实际情况是，传统的语音网和数据网都在相互吸取各自经验教训，取长补短，直至最后的统一和融合。传统 IP 技术是无连接的，风头盖过了面向连接的 ATM；而 MPLS 的部署，又让新的 IP 网络打上了面向连接的标签。

4. 寻址技术的机理分类

上一章已经讲过通信所研究的第二大课题——寻址。在我们了解了有连接操作和无连接操作后，我们再回过头来看看目前存在的多种寻址技术和设备，它们可以按多种方式进行分类。例如，按可用资源分类、按应用场合分类、按实现技术分类或者按实现技术机理分类。其中影响通信网络属性的是按照技术机理分类。

电信网络按照机理分为“连接操作寻址技术”和“无连接操作寻址技术”。前者是针对那些有连接操作的技术体制，而后者正好相反。老杨将这些技术做简单的罗列，在后面章节讲到每种技术体制的时候，再分别介绍。

有连接操作寻址技术，最典型的是语音交换网 PSTN 和 MPLS 网，而无连接最典型的是由传统路由器和交换机组成的 IP 网络，如图 6-7 所示两类技术体制。

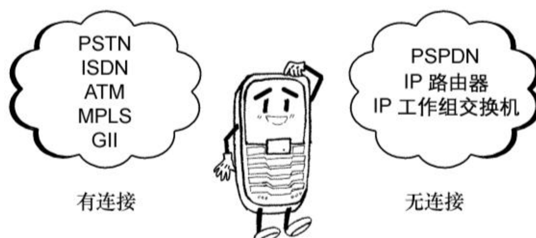


图 6-7　有连接寻址技术和无连接寻址技术

很多读者会好奇，面向连接和无连接的分类，与通信的“优化”课题有何关系？采用面向连接还是无连接方式，这的确是一种网络优化的方案，只是这种方案隐藏在每种技术体制

内部，发挥着巨大的“优化”作用。与复用技术相比，它从另外一个角度节省了通信网络的资源，提高了网络综合利用率，提高了通信网络的传输和交换效率，并让通信网更加可用、易用。



不可忽视的“摩擦力”——传输损耗

通信网不仅仅要考虑让电话接通，还要考虑电话打通后，如何让音质更好。传输带来的各种损耗，会给通信网质量造成影响。传输损耗大，后果很严重！减小传输损耗，是通信网络优化中的重要课题。

为了减少传输的损耗，有必要对传输过程中的各种损耗参量做一个了解。请各位读者一定要记住下面的术语以及这些术语的英文，在通信网工程中，测试仪表就会侦测到下列参数，而每个参数都会对通信网的质量造成影响。

误码（error)：接收与发送数字信号之间的单个数字的差异；如把 0 变成了 1，1 变成了 0。

抖动（jitter)：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的短时的、非累积性的偏移；如信号的个别迟到随即又恢复的现象。

漂移（wander)：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的长期偏移；就好比每天晚来一点点，并得寸进尺，来得越来越晚。

滑动（slip)：数字信号连续数字位置不可恢复的丢失或增加；如因时间不一致而造成的“无中生有”或者“丢三落四”。

延时（delay)：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的推迟，就是信号的整体“迟到”。

延时抖动（delay variation)：数字信号的各有效瞬间相对于其理想时间位置的推迟变化幅度，也就是信号“迟到”时间长度的变化区间。

分组（信元）丢失（packet loss&cell loss)：数据分组或数据信元不可恢复的丢失，就是连续的信号段的完全丢失。

抖动、漂移、滑码、延时、延时、抖动、分组丢失如图 6-8 所示。

每种技术体制都会对上面讲到的若干种传输损耗参数制定规范，并提出几种损耗类型的最大可接受值。在工程实践中，专家们摸索出了这几种损耗类型在不同范围内所适合的业务类型和带来的不同问题。

传输损耗是永远存在的，就像摩擦力客观存在一样，只能通过优化，尽力减小其对业务的影响，要想 100%去除任何一种损耗，都是不现实的。一张通信网络可能会在某个时段没有分组丢失，但具有分组丢失的概率，哪怕这种概率只有万分之一：数据包的数量是庞大的，每一万个数据包，平均就会有一个数据包丢失。通过网络优化，可以减小分组丢失的概率。传送相同的业务，采用不同的传送技术，上述参量都不尽不同，而采用何种性价比的传送手段，则是电信工程实施者需要综合考量的问题。

解决传输损耗问题绝不是头痛医头，脚痛医脚，而是通信技术的综合发展，如传输介质、编码格式、校验技术、同步技术等的发展。



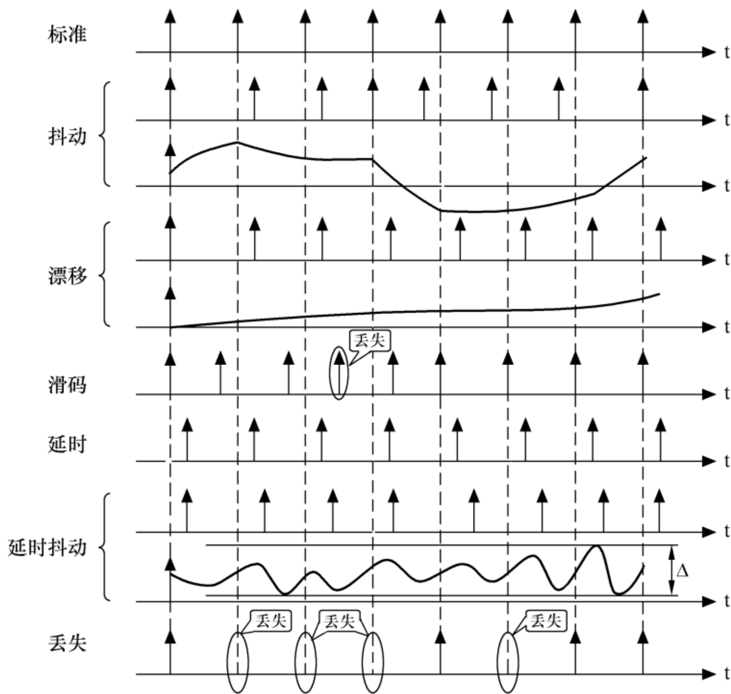


图 6-8　抖动、漂移、滑码、延时、延时抖动、分组丢失



“非诚勿扰！”——网络安全基本概念

安全是人们对通信网更深层次的需求。“安全”何解？避免危险、恐惧和忧虑的程度和状态。那么网络安全呢？老实说，如其他很多电信术语一样，目前没有被公认的针对“电信安全”的确切定义。而大部分对“网络安全”的定义，基本都是针对计算机网络而言，其实质内容多数是指计算机系统安全。这也很正常，最可能发生危险的地方才有对“安全”的讨论，基本不可能发生危险的地方，人们是不会去考虑安全问题的。

老杨经常参加各种通信类型的研讨会，专家们最喜欢问的问题是：通信下一步做什么？有的人说：移动！有的人说：融合！有的人说：统一！然而，所有人都还有一个选项从未被排除，那就是：网络安全！无论是军用还是民用，无论是数据还是语音，电信网络的网络安全是永久的生存之道，也有永远谈不完的话题！

网络安全包含两方面的含义，一方面是信息安全，一方面是网络通道的安全。

1. 信息安全

“信息安全”是个大范畴，通过各类专家所研究的内容的关键词，可以清楚地看到其发展轨迹和技术分类。

最早的信息系统安全问题，是通信和密码的结合。首先是在第二次世界大战时，作战双方通过截获电信网络传递的信号，窃取电信网络传递的信息。于是，有一批专家专门从事信

息自身安全的工作，他们每天念叨着“**加密**”、“**解密**”、“**破译密码**”。那时候，密码技术成为信息安全几乎唯一的核心技术。在战争年代，破译敌军密码成就了很多“民族英雄”。（回忆一下电视剧《暗算》中桀骜不驯的女数学家黄依依是如何破解敌军“光复一号”密码的。）

在 20 世纪 70 年代后期，计算机系统实现了系统内部的信息处理和数据存储，截获了电信网络传递的信号和计算机系统处理的，就可以窃取、篡改和伪造信息业务系统中的信息。这时信息安全专家队伍分化出一批人，他们是计算机的专家，工作领域逐渐向计算机系统安全扩展。他们每天研究的课题，不外乎几个关键词——“**机密性**”、“**完整性**”、“**可用性**”、“**可控性**”和“**可追溯性**”。（回忆一下《偷天陷阱》中的主角是如何利用电脑受“千禧虫”影响当机的契机，洗劫银行的。）技术专家的工作就是防范信息安全的隐患，以杜绝高科技犯罪。

20 世纪 90 年代，计算机系统发展成为计算机网络，互联网的边界向大众开放，给网络安全带来直接威胁，于是信息安全就进入了以边界保护为主的“计算机网络安全年代”。这时，以互联网为基础的信息基础设施（也就是计算机网络）中，病毒和黑客入侵问题成了人们关注的大问题。这时候，又有一批专家分化出来，专门从事计算机网络安全工作。这时，这些专家们研究的关键词，变成了“**保护**”、“**探测**”、“**响应**”、“**控制**”和“**报告**”。

2. 网络安全

信息安全是指信息内容的保密性，而网络安全是指通信“管道”（信道）本身的安全性。我们看一看各类电信网络的常见安全问题。

- 广电网的典型网络安全问题是电视插播问题，很多人都是此类问题的受害者。
- PSTN 和移动通信网的典型网络安全问题：电话骚扰；垃圾短信；推销内容的电话。前面 3 种情况又是几乎人人都遇到过的问题，还记得 2008 年央视的“3·15 晚会”对垃圾短信的声讨吗？互联网用户经过拨号上网引入的安全问题；固定电话网用户终端逐步智能化引入的安全问题；VoIP[1]中主叫号码被任意设置问题，诸如此类。

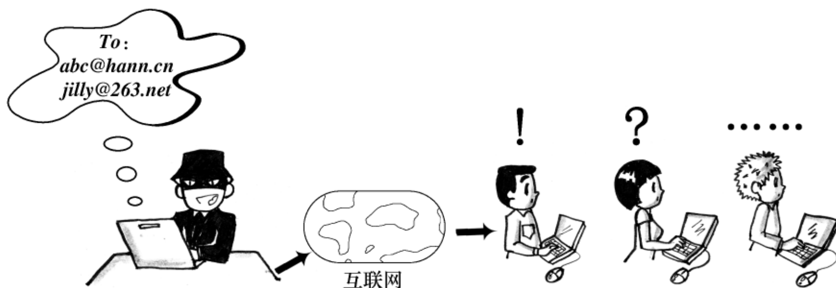


图 6-9 发送垃圾邮件

[1] VoIP 即 Voice over IP，即“网络电话”，利用 IP 网络提供语音服务的技术。



- 互联网的网络安全问题：数据包目的地地址容易被发现；IP 源地址很容易修改伪造；修改路由器信息可以改变网络传输路径；垃圾邮件（如图 6-9 所示）；黑客可以截取含有管理控制功能的数据包，对通信网的支撑网进行攻击；由于 TCP/IP 网络低层的安全性缺陷导致应用层存在漏洞，如钓鱼网站、DDoS 攻击、各种木马程序（连希腊古城特洛伊都被卷进来了）等（如图 6-10 所示）。

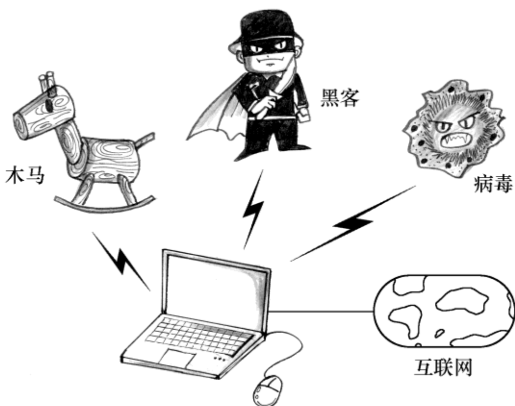


图 6-10　木马、黑客、病毒从网络上攻击计算机

- 无线网络的典型网络安全问题：黑客截取电波信号并解调数据；干扰阻断通信形成拒绝服务攻击（很多会议室安装手机信号屏蔽器就是利用此类技术，当然，技术本身无罪，看应用的场合如何是否恰当了）；黑客向基站插入命令修改控制信息，或者发送大量连接请求，造成网络拥塞；服务器标示符（SSID）的安全问题，本来 SSID 是无线接入点用于表示本地无线子网的标志，而黑客获得 SSID 就能够对网络实施攻击。

通信网的网络安全问题之所以能够迅速引起国际社会的重视，起因于互联网。现在人们常常提到“网络犯罪”、“互联网上病毒传播”等令人不安的模糊概念。其实这是一个因普遍概念混淆而引入的普遍误解。这里老杨要为互联网正名：信息系统由信息基础设施（基础架构）和信息业务系统（内容）组成；信息基础设施由电信网络和计算机系统组成。互联网是一种电信网络。有一个普遍的概念混淆，就是把互联网、以互联网为基础的信息基础设施、以互联网为基础的信息系统，通通称为“互联网”。这样解释太绕嘴，可以这么说：互联网的基础设施是 A，信息系统为 B，A + B = C，但是现在 A 被称为互联网，B 被称为互联网，C 也被称为互联网！而我们通信行业所提到的互联网，应该是 A；因为 B 和我们关系不大，内容是由全社会集体提供的，C 的范畴太大，更不是我们所能关心的问题。

然而普遍的误解在于，2003 年以前，以互联网为基础的信息基础设施（也就是 A）和多种多样的信息系统（也就是 B），有效地支持了国际信息化进程，于是人们把一切功劳通

通归功于互联网（不管是 A、是 B 还是 C，总之，大家一起“归功于”它们了）；2003 年以后，互联网支持的国际信息化进程出现了安全问题，互联网在被过分应用而出现了力所不及的问题时，人们把一切罪过通通归咎于互联网，甚至指责互联网的发起者“打开了潘多拉的盒子”。

“网络犯罪”的确切提法应当是“在信息系统上的犯罪”，充其量是“在互联网支持下的信息系统上的犯罪”，罪魁祸首是 B；“互联网上病毒传播”的确切提法应该是“在信息系统之间的病毒传播”，充其量是“在互联网支持下的信息系统之间的病毒传播”，那么真正的元凶也应该是 B。而通信行业研究的内容基本都是 A 啊！因此，可以说，互联网不是犯罪和流毒的“元凶”，只是 A 的存在，给 B 带来了土壤，造成了网络犯罪。在法理上，A 是无罪的（如图 6-11 所示）。

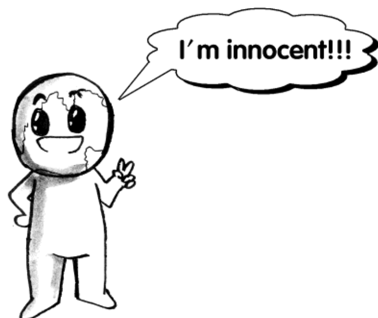


图 6-11　互联网：I am Innocent！

其实，所有电信网络的天职就是如实传递信号。执行天职何罪之有？！但是客观上，所有各类通信网络都可能被非法利用，特别是被恶意破坏，这是互联网安全研究的问题。

3. “关爱通信，关注安全”——安全服务举例

专家们根据多年实践，总结出一套安全防范的解决方案，下面所列的是常见的几种，如图 6-12 所示。



图 6-12　安全防范图解



- 访问控制服务：防止未授权使用系统资源，或者当网络资源已经饱和，防止新的呼叫进入，如 CAC（Call Access Control，连接接纳控制）机制。每个进入鸟巢的观众都要凭票，没有票的人禁止进入；这可以避免因为赛场满员而带来的其他安全问题。PSTN、ATM、MPLS 网络都有相应的 CAC 机制。
- 鉴别服务：防止假冒威胁，我们常见的是盗用其他用户的身份，包括 IP 地址、MAC 地址、无线频率等占用网络资源。就像使用伪造的门票进入体育馆或者电影院，必须予以严厉打击。
- 数据完整性服务：防止数据非法修改、插入、删除、中断，比如黑客被商家雇用攻击竞争对手的网站这样的行为。
- 数据保密性服务：防止泄密、信息流量分布，对保密性信息必须进行数据加密。
- 抗抵赖性服务：防止抵赖，应尽可能做到可以追溯历史数据，比如有非法用户利用 VoIP 技术对主叫号码进行伪装，从而实现诈骗目的，通信网络必须能够有效检测出非法用户的实际位置并防止该用户抵赖。
- 木马检测服务：通信网络中存在大量代理（proxy），有的是出于安全需要设置的代理，有的是出于特定目的设置的代理，为“敌人”工作的代理就是“木马”。希腊人发明的这个东西摧毁了特洛伊，而黑客利用伪装成实用工具或小游戏的软件，通过即时通信、网站进入其他人的计算机系统，从而盗取信用卡密码、用户账号密码，这种事情已经屡见不鲜，成为电子商务的主要防范对象。

4. “打死我也不说”—— 数据加密技术

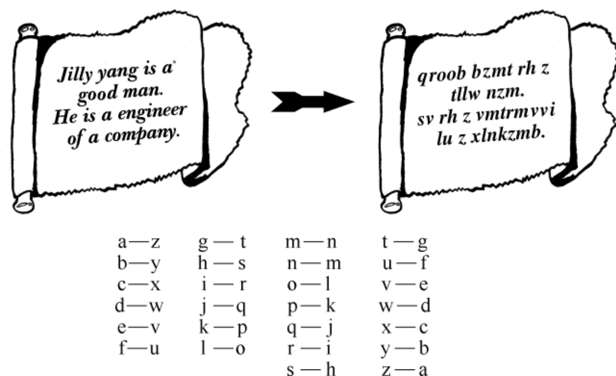
人与人的交流，需要私密性。对于政府机构、金融机构、保密机构，大量的信息是对绝大多数人保密的；对于企业，也存在大量的商业机密，这些商业机密的价值就是交给最合适的人并把它利用起来；对于个人，任何人之间的通信都可能带有隐私成分，不希望被第三者听到。

当然，生活中的“保密”包含两方面的内容。一方面，你需要把保密的内容“藏”起来，“存储”到某个保密空间，防止让别人获取，类似于孩子玩的“捉迷藏”游戏。有专门的技术来保证你的保密内容不被偷窃，比如最先进的密码锁、你的守口如瓶和最先进的文件存储技术。这任何一个方面，都不属于我们本书讨论的范围。另一方面，当你需要把这些保密的内容通过特定通道传递出去，并需要保证内容不会外漏。这些方式包括雇用押运车、说悄悄话等；在通信中，则有专门的通信保密技术。当然，雇用押运车也不是我们本书讨论的范围，老杨还是要将话题拉回到我们通信的保密技术上来。

最传统的通信保密技术叫做“密电码”技术。我们经常看战争片有这样的情节：我情报员英勇无畏智慧过人战无不胜，成功破译了敌人的密电码，从而获取了敌人的重要情报，并一举粉碎了敌人的阴谋。在战争中，信息交互非常频繁，未经充分加密的信息被敌人获取或破译后，战争局势可能因此而彻底改变。

最简单的保密方式是通信双方拥有一样的明文和密文的对应方式，举例如图 6-13 所示。

比如英文里面 26 个字母，每个字母对应另外一个字母。比如 a 对应为 z，r 对应为 i，e 对应为 v，d 对应为 w。那么，read 就对应为 ivzw，dear 就对应为 wvzi，dare 就对应为 wziv。如果你把 ivzw 通过某个渠道送达要获取信息的人，他也有一个同样的字母对应表，就很容易破译出 read 这个单词来。这种方式，便捷、容易理解和记忆，但是缺点也是明显的：如果你的敌人也获得了同样的字母对应表，加密就变得毫无价值。



a—z	g—t	m—n	t—g
b—y	h—s	n—m	u—f
c—x	i—r	o—l	v—e
d—w	j—q	p—k	w—d
e—v	k—p	q—j	x—c
f—u	l—o	r—i	y—b
		s—h	z—a

图 6-13　最简单的加密方法举例

即使敌人没有获取字母对应表，这种方式也非常容易被破解出来。专门研究密码的人会从人的使用习惯、经验规律、字母使用频率等角度来破解密码。比如在英文中应用最多的字母是 s、t，那么不管你的暗文多么晦涩，破译者也会根据使用频率最高的字母可能映射 s 或者 t 中的某个字母开始着手，很快破译出所有密电码规则。

密电码技术在真正需要保密的机构，必须采取更先进的算法，而这些算法都是数学家发明的。自诞生之日起，密码技术就是一门高科技学科。研究加密和破解加密永远是此消彼长，既然都是人发明的方法，也一定有别人能破解，要做到百分百的“保密”，恐怕也会存在无人能读懂的风险。



浓缩的，都是精华！—— 通信压缩技术

无论是在计算机领域，还是在通信领域，压缩的目的只有一个，那就是“节约”！节约存储空间、节省线路带宽、节省传送时间，都会给人类带来好处。当然，有些信息压缩会导致信息丢失或者失真，如声音、图像的压缩。比如 IP 网络中传送语音，一般都会采用压缩技术，如采用 G.723 压缩算法。语音压缩造成的失真，如果用户能够接受，那么这种压缩就是成功的；如果用户不感知，那么这种压缩就是非常成功的！资源有限的网络还不得不采用压缩技术，“打肿脸充胖子”只会丢失更多的信息。VoIP 有几种常用的压缩算法：G.723、G.729、GSM 和 iLBC。如果不压缩，采用 G.711 算法，在质量很差的 IP 网络上，语音质量会让人无法忍受。音乐、视频都有各自的压缩算法。我们经常听到诸如 MP3 和 MP4 这样的媒体技术，它们的流行最关键的原因不是音质和画质，而是在保证基本音



质和画质的基础上更利于在互联网上传播。如果不考虑信息传递，CD 的音质会比 MP3 更让听众愉悦。

还有一种常用的语音压缩技术 ADPCM，中文翻译为“差分自适应 PCM”。这是一种采用平均值的方法来压缩语音编码的技术，也就是说，用差值替代绝对值。如图 6-14 所示，要传送一组较大的数字，只需传送其中一个数字和其他数字与它的差值即可。

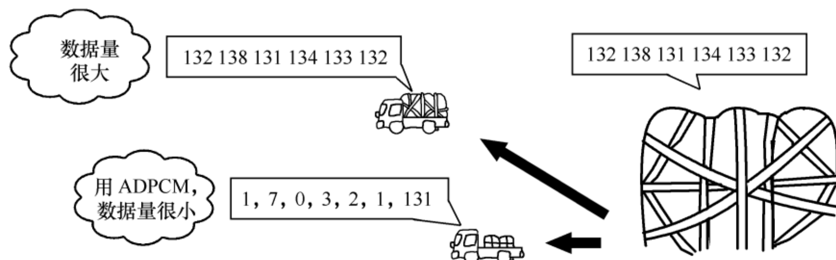


图 6-14　ADPCM

压缩技术在通信领域应用非常广泛，尤其是在语音、视频等多媒体的传送方面。而作为通信网络，只是应用压缩方面的数学成就，为通信网的优化服务。



服务第一，顾客至上！——通信服务质量

QoS（Quality of Service，服务质量），是指决定用户满足程度的业务性能的综合效果，“为人民服务”，表达了服务对象是谁；而“全心全意为人民服务”，就重点关注“服务质量”的问题了，“全心全意”，是服务质量的具体体现。

老杨提醒各位，关于 QoS 的知识，是很多初学者感觉只有两个字——“繁琐”，但是在工程实践中 QoS 却非常重要。研究通信的 QoS 问题，并不只是研究如何提高 QoS，而是研究如何用最低的代价、最少的投入，让通信网满足更多的业务 QoS 的需求。也就是说，如何“花小钱，办大事”。

ITU-T 又出场了——这次他们提出了一套严肃、规范、难以理解的描述服务质量的参量，我们一一来看。

- 业务保障性能：电信主管部门提供业务，并且在使用过程中提供支持的能力。这种能力可以用以下参数表示：这个网络平均业务供应时间是多长？每年在线时间为多长？每年可“当机”时间为多少小时以内？账单、计费出错的概率是多大？
- 业务适用性能：通信网络保证业务能够支持用户成功而且方便操作的能力。这种能力一般表现为：用户使用该业务，出错概率有多大？比如，电话拨错概率为多少？
- 服务能力性能：通信网络保障用户请求提供业务和在请求过程中继续提供服务的能力。业务成功完成概率、业务接入概率、平均业务接入延时、网络接入能力等参数就是这方面的参数。一万个呼叫，有多少能够成功？有多少呼叫会被系统拒绝？这些都是指服务能力的性能。

- 业务完善性能：电信网络保证业务建立之后传输损伤不能超过限定范围的能力。比如对回音的抑制能力，超过多大的回音后系统将不支持其业务传送，对于超长时延的数据包，网络要将其抛弃，那么多长的时延是个门槛呢？是 30ms 还是 1 000ms？

统计复用网络（如 IP 网、ATM 网）有可能存在拥塞和带宽过载问题，因此其 QoS 被人们更多地予以关注。在 QoS 问题上。ATM 技术可圈可点，但是最后却是一个可歌可泣、可悲可叹的结果，它是一个可分析、可研究、可探讨、可接受教训的经典技术。而 IP 异军突起，却遇到大量 QoS 问题，几乎成了令人头痛的“问题青年”。传统的 IP 网络只提供单一服务类型——尽力而为（Best-effort）服务。这意味着 IP 网络会“尽一切可能”地将数据包正确、完整地送达目的地，但不能保证数据包在传送过程中不发生丢弃、损坏、重复、失序及错送现象。另外，也不会对数据包传输质量相关的传输特性（如时延、时延抖动、吞吐率等）作出任何承诺。“尽力而为”有点类似于邮政中的“平邮”，不保证到达时间，甚至不保证邮件一定能送达目的地。

怎么办呢？解决 IP 这一问题的方法就是使用智能的传输层协议。“尽力而为”服务之所以能够在全球 IP 网络中得以发展，与在网络发生拥塞的时候，TCP 监测分组丢弃情况的发生，并通过降低传输速率对分组丢弃情况作出响应密不可分。我们在大张旗鼓地宣扬 IP 的时候，往往轻视了 TCP 的存在。我们说 Everything over IP，其实是 Everything over TCP/IP。正是因为 TCP 的作用，才使得路由器中“尽力而为”的服务队列成为具有良好行为的队列。IP 像一个初出茅庐的小伙子，热情、乐观、奔放、充满阳光，但是“嘴上无毛办事不牢”，总是在尽力满足业务的同时忽视了对服务质量的把握，总之是“态度不错，能力一般；而 TCP 更像一个老成持重的长者，细致、体贴、拘谨、严格——也正因此，TCP 和 IP 的完美组合，才能够成为全球最流行的通信协议！



从几个案例来看优化

1. “狡兔三窟”，我有后路！——SDH 的切换保护

SDH 得以广泛应用、长盛不衰，得益于其强大的倒换保护能力。电信网要求稳定、可靠，一旦发生问题，那将使数以万计的用户打不了电话或者上不了网。使用 SDH 传输网络，可以规避光纤网络中某段光纤因中断造成整个网络无法通达的状况。SDH 的设计精妙，充分满足电信网对传输服务质量的特殊要求，因此成为通信界的“常青树”应用。

我们先假设地下埋了大量的光缆，这些光缆被称为“裸光纤”。如果将交换、路由设备之间直接连接光纤，通信是可以实现的，但是如果某段光缆被挖断，后果不堪设想。光纤传送的业务量都非常庞大，断掉一根光纤会对大量用户造成影响，而要想将挖断的光纤连接起来，需要很长时间的工作，这种工作一般被称为“熔纤”，故障处理周期动辄若干小时，甚至长达几天。如果中断的是海缆，十天半个月才恢复也不奇怪。

采用了 SDH 的线路保护以后，一切将有所不同。



我们假设有 4 段光纤，将 4 台 SDH 的传输设备（ADM）连接成环状（如图 6-15 所示），a 和 b 之间正在传送 3 个 155Mbit/s 信号，那么在 A 段光纤中，正在传送相关数据。当 A 段光纤中断（可能被挖土机掘断），与之相连的 a 和 b 设备发现后，在 50ms 时间内，中间正在传送的信号通过相反的方向传送，也就是说，进入 a 的信号经过 d、c 后到达 b。目前的例子，a 和 b 之间是总量 2.5Gbit/s 的带宽。

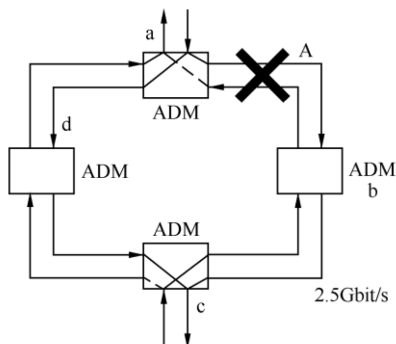


图 6-15　SDH 的切换保护

2. 战争与合作——ATM 与 IP 的世纪之争

ATM 和 IP 的争论是通信行业在 20 世纪最后几年最为激烈的竞争。ATM 技术像一个绅士，他风度翩翩、富有责任感、敢于承担责任、顾全大局、认真细致、表里如一，但是同时也正襟危坐，不苟言笑；而 IP 则不同，他穿着花衬衫和喇叭裤，脚上拖着暴走鞋，戴着墨镜，吹着口哨，俨然一副嬉皮相。但是世界上的事情就这么有趣，被通信专家精心栽培、融合了百年通信经验教训、被无数专家看好、将作为多媒体网络未来“接班人”的 ATM 技术，却在不知天高地厚又不得不“请求评论”（Request For Comment，也可以理解为“求着别人给它一个‘说法’”）的、特立独行的、服务质量和管理能力更是一塌糊涂的 IP 技术面前不堪一击！

所有 ATM 的技术都围绕着如何将各种不同需求的服务区别对待。它将各种不同的业务应用分为几个类型，每种类型在 ATM 网络上传送，受到的礼遇是不一样的。比如 ATM 定义了几种基本业务类型来满足不同的服务要求，下面列举 3 种。

- CBR 业务，恒定比特率业务，也就是专用通道的最高优先级业务。这种业务，会在某个特定的通道中“独霸”带宽。即使目前没有业务发起，该通道也将保留而不会被别人使用。政府、高端企业的特定应用会使用 CBR 业务。
- VBR 业务，可变比特率业务，也就是根据带宽需求大小进行调整业务流量。比如语音业务，在通话过程中，有声音的时候带宽被占领，没有声音的时候带宽被释放供其他应用使用。语音、视频业务采用 VBR 类型是非常合适的。
- UBR 业务，不确定比特率业务，也就是“尽力而为的业务”——还记得上次我们提到尽力而为是在哪里？对！IP 网！当某个业务开始发起（一般是数据型 IP 数据包流，如浏览网页等），如果线路上的带宽已经被高优先级的语音、视频业务占去大部分或者全部，该业务类型的数据流将被抛弃或者部分抛弃；如果中间有充足带宽，那么数据流被完整传送。UBR 更像是填充空白用的，优先级最低，服务质量最差。

一般来说，这几种业务的有效组合，就可以在任何一条 155Mbit/s 的电路上开通超过 155Mbit/s 的带宽！在城市中，一条道路能并排跑三辆车，其中一条被“交通管制”起来，只能让专用车辆通过，即使某个时刻没有专用车辆，其他车辆也不能使用；其他两条，A 企业的车优先通过，而在 A 企业未占据的其他车道，B 企业的车允许通过。假设某一天 A 企

业正好派出两个车队送货，就将占据两条车道，B 企业的车只能暂停等候，等候时间过长，B 企业的运送任务将自行取消；但是如果 A 只派出一个车队或者根本没派出任何车队，B 企业的车就允许被派出来占据除专用车道外的其他车道。专用车辆就是 CBR 业务，A 企业就是 VBR，B 企业就是 UBR 业务。

基于上述原因，ATM 线路的分配结果经常让人吃惊。在一条 155Mbit/s 的 ATM 线路上，可以拿出 55Mbit/s 给 CBR 业务给某客户使用，剩下 100Mbit/s，可以分出一条 100Mbit/s 和一条 40Mbit/s 分别给其他客户，当然这两条连接是 VBR 或 UBR 的。这在 SDH 线路中是绝不可能的！怎么把一个苹果分给 3 个人，每个人都分得 1 个？根据刚才的描述，你可以这么理解：妈妈把 1 个苹果分给家里人吃，每个人都可以吃掉这 1 个或者这 1 个的某个部分，妈妈会排出一个选择优先级——老大、老二和老三。有一种情况是这样的：老大很谦虚，于是他把苹果让给了弟弟妹妹；老二来选择，如果他选择吃掉一半，老三吃剩下的一半；如果老二选择不吃，让给妹妹，老三就能吃掉一个苹果。这样看来，他们每个人都有吃掉一个苹果的可能性。（如图 6-16 所示）。



图 6-16　分苹果 vs 分带宽

IP 技术的服务质量问题，前文已经多有描述。纵观 IP 通信诞生至今，引多少专家竞折腰！IP 技术在并不被电信专家们看好的情况下快速赢取了市场，赢得了未来，赢得了一切通信手段的优先承载权！

然而从历史角度讲，IP 和 ATM 之争并没有绝对的赢家。从表面看，IP 战胜了 ATM；但从深层次来分析，IP 吸取了 ATM 中成功的部分（不管社会群体是否真的了解或者这么认为，ATM 中很多优秀的“品质”还仍然被继承和发扬了）。

IP 和 ATM 技术的竞争，在业内持续了若干年，ATM 由于技术复杂，基于此做开发的企业越来越少，其成本就一直高居不下，以至于很多人认为 ATM 的失败是成本高造成的。但是老杨认为，成本只是个结果，真正的原因是 ATM 技术过于复杂，开放性远远落后于 IP 技术。

从这里我们总结出以下经验。





- 无论技术在设计的时候多么先进，都要做到“开放”，也只有“开放”才有生命力，一味地追求技术的唯美未必是好事情。
- 不要只看表面现象。ATM 实体的死亡，表面是因为成本，本质上是其精神不够开放和简洁。ATM 努力去包容别人，却不被使用者包容。
- 不要把所有理想都架构在某一个新生事物上，否则，希望越大，你的失望越大。IP 今天带给我们的是兴奋，大家众口一词的时候，是不是也要考虑未来，IP 真的能承载一切吗？老杨期待有反对的声音，毕竟，科技进步需要不同的声音。
- 否定别人，也要向别人学习优秀的一面。IP 的包容性，就在这里体现：ATM 未获成功（至少表面上的确如此），IP 却能吸取有益的东西供自己使用。

3. IP 的未来不是梦！——MPLS 技术浅析

MPLS 是 IP 通信网的未来和希望。

MPLS 要解决的就是各种数据网络，尤其是 IP 网络的优化问题。MPLS 将 IP 数据包根据其业务类型打上不同的“标签”，每种标签标识不同的传送优先级。优先级高就先传送，优先级低就后传送，如果优先级最低，而当时线路上带宽不足，那么等待这个数据包的，就只有被抛弃的命运了。任何客户申请业务都不会“吃大锅饭”，而是根据各自的业务优先级支付费用。

所有接下来的事情，将因打包而变得不同。首先从寻址角度看，IP 网络是根据路由表寻址，而 MPLS 网络则根据标签来选择路由，这时候，传统的 IP 路由器则变成了标签交换的交换机！在数据网边缘，给数据包打标签的节点被称为标签边缘路由器（LER，Label Edge Router），根据标签进行交换的节点叫做标签交换路由器（LSR，Label Switch Router）。

那么交换机如何指挥数据包选择路由呢？原来，在数据包进入网络的同时，它所要走的路径就已经确定。这条路径，一般是通过信令的呼叫（采用 RSVP 技术，下面将专门讲解）或者人工手动建立起来的。

MPLS 在以下 3 个方面具有明显的优势。

- QoS：MPLS 可以给每种数据包打标签，标签可用于标识传送优先级，在分配其他线路参数的时候，MPLS 也会给高优先级的数据包提供更多的“优惠政策”。
- VPN：MPLS 可以组成 VPN[2]。打上标签的数据包只会沿着特定路径传送，这就给公网上运行企业专用线路提供了技术基础。VPN 可以形成多层嵌套，只要任何一个数据包封装足够多层的“标签”，就可以一层层地传递，当然，每传递一层，就把最外面的标签去除。
- 流量工程：MPLS 解决数据骨干网流量工程问题得心应手。它仿佛就是为解决网络复杂流量问题而诞生的。MPLS 可以根据网络的瞬时状态进行路径选择，如图 6-17 所示。

[2] VPN，指虚拟专网，公网上运行企业的专用线路。

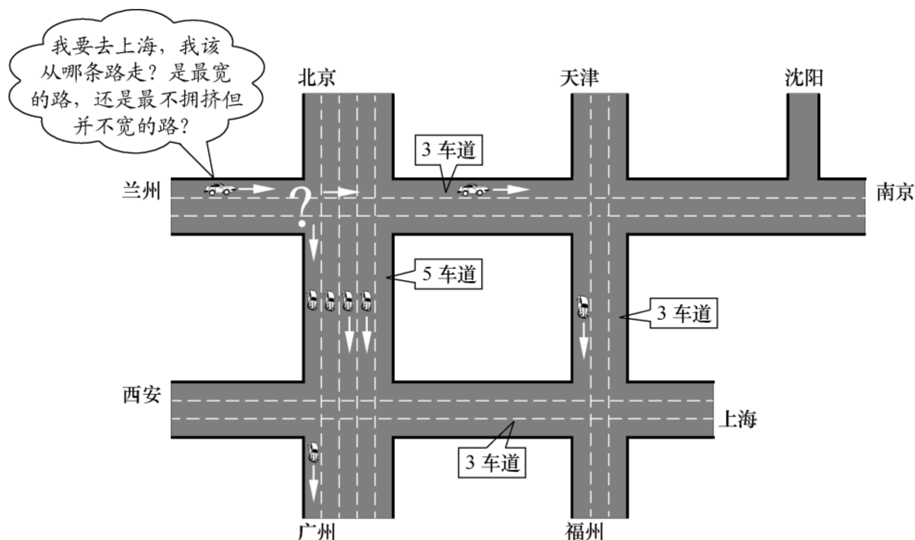


图 6-17　MPLS 的流量工程

在服务质量方面，MPLS 有两种选择：一种称为 IntServ，另一种称为 DiffServ，前者叫作“集成服务”，后者叫做“区分服务”。

老杨并不想长篇大论地描述集成服务和区分服务的所有差别，只举一个小例子予以说明。



一个学校要给学生做一批校服，负责人设计了一个非常“理想”的方案——为每个学生分别定制一套，根据每个学生的身高、腰围、腿长等制作，这样，有可能任何两件校服的尺寸都不完全一样。这样做的好处，是每个学生都觉得非常合适，但是缺点也是显而易见的，这样制作的成本会很高，管理上会极其复杂，制作时间也会很长。对于绝大部分的学校来说，都不会采用这种方式制作校服，而是分成几个尺寸类型，每个学生根据自己的身高腰围腿长选择某个类型即可。这样做，虽然对很多学生而言，身材和衣服的尺寸会有微小差异，但是并不会影响大局，这种方式的制作效率会很高，更实际，操作性强。

IntServ 就属于前一种方案。它往往和资源预留协议——RSVP 被同时提起。资源预留，是指在一个信息流开始的某个时刻，就给信息流经过的整个链路“预留”一定的带宽资源，就像在晚上要上自习课，下午先拿本书占个座儿——大学里面我们无意中都使用过“资源预留”的思想。对于 IntServ 而言，任何一个信息流都有一次资源预留的操作，将严重消耗系统资源，请各位替网络核心路由器想想，它必须有能力保存所有同时经过的信息流状态信息，要有很好的记忆力、意志力和处理能力，真不是一件轻松的事！

而 DiffServ 则属于上述例子的第二个方案。它是在 IntServ 和 RSVP 解决 Internet 的服务质量问题并不如意之后才逐步发展起来的。就像制作校服一样，人们把原来很少使用的 IP 数据包头的第 2 字节——ToS 字节作为“衣服号码”。运营商在与客户签署的服务等级协议（SLA，



Service Level Agreement）或流量调解协议中明确定义服务等级，DiffServ 将根据不同的服务等级设置不同的 ToS 值。注意 SLA 中 A 是“协议”，但此“协议”是 Agreement 而不是 Protocol，这是客户与运营者之间的以合同形式规范下来的行为准则，并非技术标准。利用 DiffServ，任何业务流的属性都可以被简化为一个数值，告知网络该如何处理该数据流。而在整个 IP 网络中，每个带有 ToS 标识的 IP 数据包，就好像城市道路上把所有的汽车都标识为一组编号，编号小的，优先级高，通过任何一个十字路口，都必须让它们先行，编号大的则相反。在交通规则中，救火车、救护车、警车享有最高优先级（它们的编号可能是 1、2、3），而公交车享有第二优先级（它们的优先级可能是 11、12、13），其他车辆属于第三优先级（优先级有可能是 21、22、23）。

4. 让用户“不带走一片云彩”——流媒体业务介绍

将网络上的信息接收到本地，有两种方式，如图 6-18 所示，一种是以文件的形式将信息“下载”，并存储在本地；另外一种是通过“流”的方式从上端传送下来，在本地不存储。

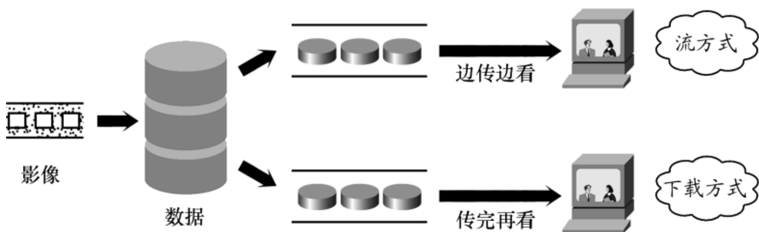


图 6-18　基于下载方式的传送和基于流方式的传送

利用下载方式传输音频/视频信号存在一个重大问题：音频或者视频（A/V）信息量大，下载时间长，并且需要比较大的存储容量。如果不将文件完全下载，你是无法看到或者听到视频或音频的——既然是下载，就必须完整地下载整个文件。另外，文件下载到用户本地，很容易被复制，版权成了大问题。

流媒体的方式能够很好地解决下载方式遇到的问题。声音、影像或动画等媒体，由 A/V 服务器向用户计算机连续实时传送，用户不必等到整个文件下载完毕，经过几秒到几十秒的启动延时后即可观看，同时在后台从服务器中继续下载。“流媒体”并不是一种新的媒体形式，而是指这种在互联网中使用的新的媒体传送方式。流媒体一方面大量节省媒体存储空间，另外一方面对媒体的版权保护起到关键作用。

如果将文件传输看作是一次接水的过程，过去的传输方式就像是对用户做了一个规定，必须等到一桶水接满才能喝，这个等待的时间自然要受到水流量大小和桶的大小的影响。而流式传输则是，打开水头龙，水就会源源不断地流出来，很快就可以打水来喝了，并且水流量和桶的大小，都不会影响用户用水（如图 6-19 所示）。从这个意义上看，“流媒体”这个词是非常形象的。





图 6-19 接水的学问

这两年流行起来的各种视频点播的网站，都是基于实时的媒体流方式，在整个视频还未被下载完的情况下，你就可以看到视频，如果带宽不足，视频可能在下载过程中中断，等待计算机继续从服务器下载一部分后才能继续观看。未来通信网中大量的音频、视频都将采用流媒体的方式进行传送，比如收看电视节目，电视节目可能是 24 小时连播的，不可能打包成一个个文件供客户下载后再观看，而是随时打开随时可以看到的。

流媒体将是互联网和移动网未来最主要的应用之一。

5. “人人为我，我为人人”！—— 从 P2P 到 P4P

P2P 自诞生之日起就争议不断。它是互联网中最受用户欢迎的应用之一，也是让运营商最头痛的技术体制体制之一。P2P 总是披着诱人的“外衣”，并且“外衣”的数量正快速增加中，BT、电驴、PPLive、Skype，读者们应该都不会陌生。从纯粹的技术角度讲，P2P 技术是互联网一项独具特色的优化技术。

互联网发展十多年来，成功盈利模式不断涌现（拿到风险投资和成功的盈利模式是两回事），大量互联网上的业务收入颇丰，如搜索引擎、电子商务，而带宽接入则只能赚取微薄的利润。也就是说，修路的利润低，而搞运输的利润高。这里面很重要的原因就是，互联网接入流量不均衡性和互联网内容的不确定性，让电信运营商一直苦苦探索对其的收费模式。目前大部分互联网接入都是包月或者按照时长的方式。也曾传出某运营商将按照流量收费，但技术的复杂性和民众的反对让这种模式举步维艰。

P2P 技术就是一种大量占用互联网带宽的技术，它的存在，让运营商无数带宽快速被占用，这是电信运营商头痛的最大原因。

试想，任何两个信息交互点，A 向 B 传递信息，方法很简单——A 把有效信息复制一份传递给 B；如果 A 希望把信息传递给 B、C、D、E……Z，那么一般情况如何做呢？A 把有效信息复制一份，传递给 B，再复制一份传递给 C，再复制一份传递给 D……最后再复制一份传递给 Z。这种方式，A 需要有足够的性能去处理这么多的信息传递，并且 A 本身需要有足够的带宽同时处理若干信息传递。A 承担巨大的压力，不堪重负。



另外一种思路是，A 只将信息传递给 B 和 C，B 和 C 分别传递给 D、E、F、G、H，它们再分别传递给 I、J、K、L（如图 6-20 所示）。任何一个获取了信息的终端都可能被其他未获取信息的终端当作新的信息服务器并从中获取信息。在 P2P 技术中，获取了部分信息并可公开给其他终端下载的信息点，有一个有趣的名字——“种子”。每次看到 P2P 技术的新应用，老杨都会想起伟人曾经说过的——“星星之火，可以燎原！”

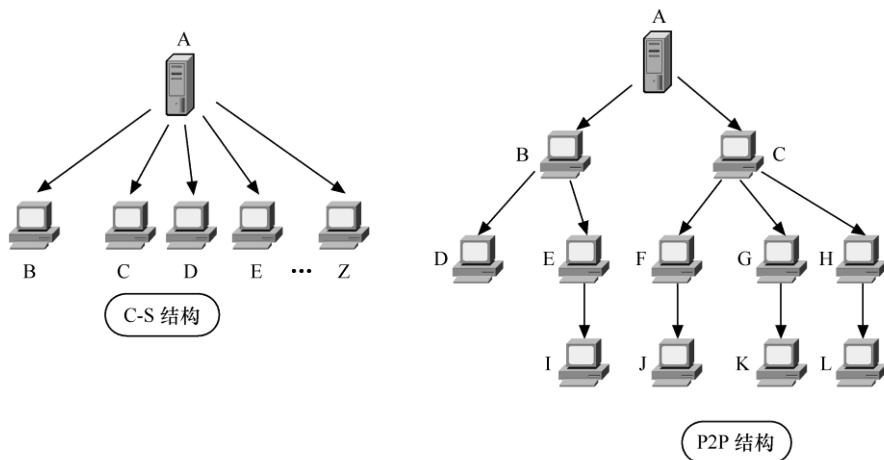


图 6-20　C-S 结构 vs P2P 结构

P2P 技术可不仅仅应用于下载。常用的即时通信工具——Skype，也采用于 P2P 技术。Skype 公司号称在全世界只有一台主用服务器，因为任何终端登录时候只需要访问一次该服务器，接下来的工作全部由 P2P 技术实现。比如相互之间的文字交流和语音交流，不再经过服务器。你在享受它带来的服务的同时，无意中也被当作服务器，供别人来使用。无数终端的富余带宽、CPU 的富余资源、硬盘富余空间，都被当作 P2P 的共享资源。你可以想象，这些资源多么庞大，可以用来做多少事情了！

P2P 一直客观存在但是却不受运营者尤其是互联网缔造者的欢迎——它支付了太少的钱而占用了太多的资源。当然，P2P 的支持者会认为 P2P 只是变废为宝。

一种新的下载技术—— P4P，正逐渐进入公众的视野。P4P 被称为新一代的、有运营商参与的 P2P 技术。P4P 全称“Proactive Network Provider Participation for P2P”，意在加强服务供应商（ISP）与客户端程序的通信，降低骨干网络传输压力和运营成本，并提高 P2P 文件传输的性能。与 P2P 随机挑选 Peer 不同，P4P 可以协调网络拓扑数据，能够有效选择 Peer，从而提高网络路由效率。分布式计算产业协会提出了 P4P 网络协议概念，而美国知名运营商 Verizon 最近的试验也证明，这种 P2P 网络升级版的确可以大幅提高下载速度，并显著减少网络拥堵现象。目前国内国际还极少有相关的案例，我们期待未来的 P2P 技术更加成熟和理性，让各方各取所需！



第 7 章

Chapter 7

通信网络基础框架透视

如果说前面三章是对通信网技术的纵向研究，接下来的章节将对通信网主要应用领域做横向切分并分别描述。本章是以下几章的“先修课”。

从第 8 章开始，老杨将对我们所熟悉或者不熟悉的几乎所有现存的和已知的通信网络进行讲解。大量名词、术语、定义、概念、原理将充斥于每个章节，从一般的学习规律来说，这很难不产生混淆。为此，老杨将在本章向读者们描述通信网络的框架分类，并对每个类型的通信网络研究的重点内容做提纲性分析。这样做的目的，是在各种类型的通信网之间进行横向比较，区分各种技术所在的领域；这样做的好处，是不容易混淆各个概念所属的范畴，也将更有助于读者的阅读、理解和记忆。



如果你深入地研究通信技术，研究其中错综复杂的逻辑关系、构思巧妙的设计理念、严丝合缝的理论推演、千变万化的表现形式，你会发现，通信网简直就是一门美得令人叹为观止的艺术！只是这门艺术和绘画、雕塑、摄影这样的常规艺术不同。绘画、雕塑和摄影的美，如廊上的风铃，人一走过，就会叮当作响。而通信技术的美，却如一把折扇，张弛有道，收放自如。期待各位读者走进通信技术里面，用心去体会它的美。

演进，是通信网永恒的主题。永远处于发展中的通信技术，其分类法多种多样，无论哪种分类，都很难做到完全严格和完全清晰。这符合自然辩证法。通信网是人类诞生以后创造的，是新生事物，其发展也随着人的创造发明以及其他学科的进步而同步发展；新技术不断涌现，有的能明确归为其中某类，有的却不能，有的还同时具备几个类别的特征；而跨技术类别的新鲜事物的出现，本身就是通信网演进的特点之一。比如在传输网和数据网之间的界限本身就不太明确的情况下，又出现了 MSTP（多业务传送平台）——它是数据网和传输网结合的产物——任何的归类都有不妥之处。分类本身的价值如果无法体现，反倒会引起初学者更大的困惑。类似的技术还有 ATM（数据、语音皆可传送）、ASON（既可以理解为传输网的演进，也可以理解为数据网的发展）、小灵通（究竟是固网还是移动网）、3G（既可理解为语音移动网，也可理解为数据网的移动传送网）等。为了便于研究，专家们只是粗略地将所有通信网归结为传输网、交换网、数据网和支撑网几大类。老杨也遵循专家们的说法，按照如此



方式进行分类。只是这几种类型，可能你中有我，我中有你，也可能互为依托、互为基础，因此，老杨希望各位能够明确它们之间的逻辑关系，便于对后续章节的理解。



传送网——一切通信网的基础

传送网是指用作传送通道的网络，它一般架构在交换网、数据网和支撑网之下，用来提供信号传送和转换的网络，是上述 3 种网络的基础网。传送网一般研究的介质实体是光缆光纤、铜线、信号放大器、接口和接头、接口转换器、微波系统、PDH 光端机、MUX 复用器、SDH 设备、WDM、ASON、卫星通信中的卫星，等等，一般研究的技术类型有光纤原理、光纤放大器、熔接技术、调制解调技术、频谱技术、SDH 倒换技术、PCM 复用技术、信道与噪声、差错控制，等等。传送网和数据网、语音网的结合都非常紧密，而与电信业务的距离则相对较远。



语音网——百年历史，成就卓著

最早的通信网、最成熟的通信网、发展周期最长的通信网，这些描述都适合于一种通信网络——PSTN。简单地说，语音网为用户提供相互之间的语音通信，当然包括固定网和移动网的语音通信。语音网一般研究的介质实体是程控交换机、移动基站、接入网设备、电话机、传真机、手机、SIM 卡等；一般研究的技术有 A/D 和 D/A 转换、交换原理、电话号码管理、传真技术、语音压缩技术等。语音网是最早的电信网，和数据网的结合越来越紧密。随着 NGN/IMS 技术的发展，语音将逐步承载在以 TCP/IP 为核心的数据网之上。



数据网——通信新贵，未来之星

数据网是在 20 世纪最后十几年高速发展起来的，是相对发展较晚、技术变化较快的网络。数据网是用来传送数据的，包括互联网数据、DDN、帧中继、VPN、视频业务等，随着业务的不断融合，也可以提供语音业务。数据网研究的介质实体包括路由器、交换机、防火墙、服务器、视频终端、MCU 等；一般研究的技术类型有帧中继技术、ATM 技术、TCP/IP、路由协议、MPLS、P2P、视频分发、流媒体、地址规划等。数据网技术体制多样，应用广泛，以 TCP/IP 为基础的数据网将成为未来电信网的基础承载网络。



支撑网——默默无闻，鞠躬尽瘁

支撑网是为了配合通信网正常工作而建立的信令网、智能网、同步网、营账系统、网管系统等。支撑网研究的介质实体包括时钟、七号信令系统、智能网系统、网管网等；一般研究的技术类型有同步技术、智能网技术、网络管理（如 TMN、SNMP 等）、经营管理支撑系统、计算机软件等。



综合网——通信网中的混血儿

老杨发现自然界有个规律：越是让人振奋的东西，越是不守规则。比如孩子，绝大部分

人都喜爱孩子，但是孩子是最不遵守规则的，因为他涉世浅，没有定式，天马行空，难以驾驭。通信网中的新鲜事物，大都也具备“不遵守规则”的特征。它们可能跨度几种网络，综合几种技术体制的优势和特点，给通信学界带来新的热点，但是，却难以分类。于是，老杨决定增加一类“综合网”，就好像穷举一个事情的若干可能结果，在列举了10种可能性之后，最后加上最后一种可能性——“其他”，这是一种典型的偷懒表现，老杨却不得不偷这个懒，因为通信技术中有太多跨传送网、语音网、数据网的技术，多得让人目不暇接。

比如前文讲过的MSTP，将以太网技术、IP技术和SDH技术结合在一起，能够解决城域网中IP传送的安全问题，但是它却给分类造成了一定的困难。而NGN究竟属于语音网还是数据网，又是个难题。

NGN 只是一种网络架构，它应该由语音网、数据网、支撑网等多种网络混合而成，提供的也是语音、数据以及它们相结合的业务（如Voicemail等），因此NGN也很难被归为任何一类。

ATM网络，是利用固定帧长的ATM技术，承载数据业务、语音业务和视频业务，其统计复用的特点，能够同时将多种业务根据各自服务要求等级在同一个网络上传送，因此ATM网络也是一种综合性的、不能简单隶属于数据网络的技术，虽然其设计原理是基于数据网思想的。

ASON，已经超越了常规意义上的“传送网”和“数据网”的概念，是未来传送网的发展方向。



各种网络的结构关系

我们来看看图7-1。

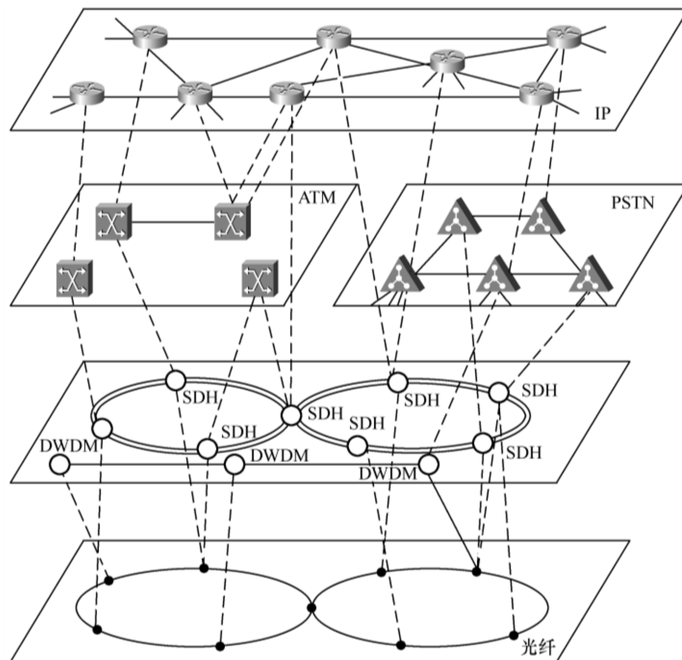


图7-1　多层网络的拓扑图



这幅图的多个层次表示通信网的各个技术层面，从光纤到数据网，每个层面都有各自的拓扑结构，也都有各自所担负的职责，ISO/OSI 为什么要把通信网分为七个层次？就是为了让通信网的各个角色各尽其职，同步发展，任何层面都可以有自己的创新而不至于微小的调整就让整个网络“伤筋动骨”。

通过上图，老杨也期待各位读者学会看网络拓扑图。网络拓扑图都是示意图。大家看图 7-2 所示的两台路由器之间的 155Mbit/s 的连接，如果一个工程师像盲人摸象一样从一台路由器顺着连接线到达另外路由器，他中间很可能要经过一系列设备；但是在拓扑图上，仅仅是一根实线！为什么呢？在我们研究数据网的时候，就潜心研究数据网，不要受传输网络的影响，这样才能结合数据网自身的特点做出客观分析。在网络维护工程师定位设备故障的时候，也是从下层到上层顺序查找问题，在每一层都要判断是否连通、封装方式是否统一、路由设置是否正确、业务逻辑是否合理、同步时钟是否一致，不能盲目地“尝试”，否则会耽误大量宝贵的时间。

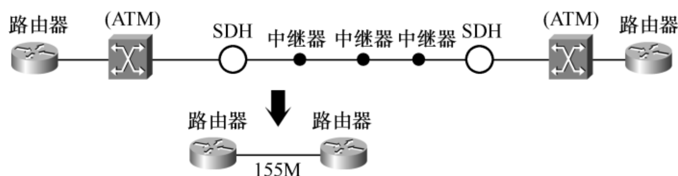
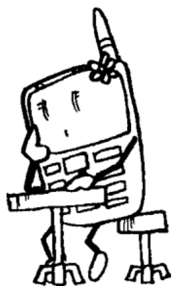


图 7-2　两台路由器之间的连接



第 8 章

Chapter 8

通信网中的传送介质和传输网

有人指着一根光纤，问：这根光纤是多大带宽？某电信人士回答：100M！他又指着另外一根光纤，问：这根呢？该电信人士回答：1 000M，也就是 1G！这个人就奇怪了：这两根光纤并没有区别啊，它们来自同一个供应商的同一个批次，它们采用的原材料、制作工艺和设计参数都一模一样，怎么一根是 100M，一根就是 1 000M 呢？都“同一个世界，同一个梦想”了，怎么“相同的光纤，不同的带宽”呢？

这是个有趣的问题。光缆或者电缆，本身可容纳的带宽是海量的，只是你需要探究如何利用它才能发挥最大效能。这和城市道路就很难类比，再高超的道路管理者，也不可能在同一时刻让 10 车道的道路并排跑 20 辆汽车。

那么通信中的各种线路，它们的容量是由谁来决定的呢？线路的介质本身，和线路“两端的设备”，都会对其容量造成决定性影响。

本章所讨论的内容就是通信网中的传送介质和传输网。



如何选择传送介质

不同的通信网络制式需选择不同的传输介质。那么，在特定的网络中采用特定的传输介质，有何规则？那就让我们看看选择通信网传送介质的四大依据吧。



- 拓扑结构：如星形结构不适合选用同轴电缆，可选择双绞线等方式（注意这里提到的星形结构是指物理结构，实际上双绞线组成的局域网从机理角度说，应该是总线型结构）。
- 容量：介质提供的传输速率、可靠性和差错率应能够满足要求。在可能的情况下，尽量选择可靠性高的介质；当然，可靠性高的介质，其本身的成本也会增加。
- 应用环境：包括传输距离、环境恶劣程度、信号强度等。
- 投资：选择网络介质的一个重要因素是考虑已有投资，比如家庭宽带上网，对于全球大部分家庭来说，还很难做到价格昂贵的光纤到户，而几十年来，电信运营商已经为家庭用户布放了大量的电话线，因此电信运营商更乐意采取拨号、ISDN 或者 xDSL 技术为家庭提供数据业务。



有了上述四大依据，人们已经形成了普遍的认识和规律，在哪种网络环境中应用哪类线缆或者光缆，不用再专门花心思去“挑选”。根据用户需求、成本和运营规模而选择的网络制式，已经决定了采用传送介质的类型。

然而在研究所有传送介质之前，有必要先了解所有物理介质为什么能传送各种频率、各种带宽的电磁信号。这是物理学范畴的知识在通信中的具体应用。我们讨论传送网，需要先从频谱和带宽讲起。



从频谱到带宽

我们从最简单的例子来类比“频谱”的含义。

任何一种物理介质，都有自己的“频谱”，也就说，电磁波在这种物理介质中传播，不同频率、波长的电磁波，其穿透过程和结果是不一样的。从结果来讲，有的能穿过，有的无法穿过；从过程来讲，即使穿过去，有的衰减严重，有的衰减较轻。物理介质仿佛是一扇奇怪的门，特别胖和特别瘦的人都不能通过，即使能通过，每个人的表现也不尽相同，有的人气喘吁吁，有的人轻松自如。

反过来说，同一个频率的电磁波，在不同的物理介质中传送，其过程和结果也是不一样的。很多生活中的例子让我们更容易理解。你知道为什么在事故高发的地段，一般采用黄颜色的警示灯么？因为黄色在空气中的穿透力是所有颜色中最强的。你知道为什么人类用γ 射线来做手术吗？因为γ 射线的穿透力特别强，能够透入人体内部并与体内细胞发生电离作用，电离产生的离子能侵蚀复杂的有机分子，如人体内的恶性细胞，这时候它就成了为医疗事业做出巨大贡献的“γ 刀”了。不同频率的电磁波在穿透、传导能力上是有差异的，而每种物理介质对不同频率的电磁波的通过能力也是不相同的。

一个概念诞生了——“通过频率”——它是物理介质能够通过的电磁波的频率范围。

这种“通过频率”，对通信有什么意义呢？

频率越高，在相同时间内可做的动作就越多。看过乔丹打球吧？他跳起来一下，可以做 4 个动作；而一般人只能做 1 个。而对频率而言，一秒钟如果是 100 次（100Hz），你可以做 100 个动作；如果是 1 000 次（1 000Hz），你可以做 1 000 个动作。如果每个动作可以传送一个数字 0 或者 1，那么对于 100Hz 的频率，你可以传送 100 个 0 或 1，也就是 100bit/s；对于 1 000Hz 的频率（每秒钟 1 000 次震动），你可以传送 1 000 个 0 或 1，也就是 1 000bit/s！

那么是不是通过频率高的物理介质，其可传送的带宽也更宽呢？并非如此！因为高频信号实际的作用是用来承载那些低频率的数据，这就是通信中的“调制”技术（其反向过程叫“解调”技术）。把低频率的信号搬移到高频率中去，让信号更易于在线路上传送，不易受到干扰源的影响，使通信的传输距离和传输质量都获得质的飞跃。并不是每个高频自身的波形都一定携带更丰富的信息量。

调制之前或解调之后的信号，称为“基带信号”，它们一般都在低频范围内，这时候每个波形承载的信息量越大，其数据带宽则越宽；而经过调制之后的信号，称为“频带信号”，其数据带宽并没有发生改变，只是信号更容易在线路中传送了。

刚才我们得出了 100 位每秒和 1 000 位每秒两个数字，这是什么？这就是带宽！如果把 100



位每秒表示成标准化语言：100bit/s，看到了么？我想你一定和我们经常见到的一些词汇联系起来了！对，100M 是什么意思？100 000 000bit/s！155M 呢？155 520 000bit/s！

这就是通信中不断被人提及的术语——“带宽”！

带宽在通信中具有两方面的含义。一个是频率范围（单位是 Hz），一个是数据流的频率（单位是 bit/s，每秒钟的位数），在模拟通信和数字通信中，这两者所表示的含义有所不同。我们来分析一下数字通信中一根线缆的数据流频率问题。对于一根线缆而言，假设线缆两边的设备让这条线缆拥有 30bit/s 的数据带宽。相当于一条 3 车道的道路，如图 8-1 所示。这 30bit/s 的线路带宽会不会被一直占用呢？未必！就像这 3 车道的道路，现在实际跑着几条车道，还要看是否有车呢！如果某个时刻，有 2 辆车通过，那么我们说在 3 车道可利用的情况下，实际的流量为 2。对于线缆来说，虽然容量为 30bit/s，但是这一时刻，只有 20bit/s 的数据流量（如图 8-1 所示）。

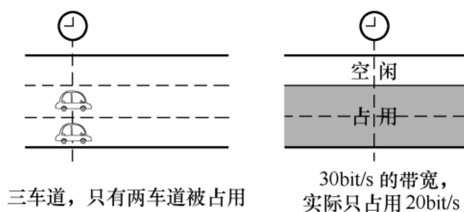


图 8-1　3 车道和 30bit/s 带宽

我们可以把 30bit/s 理解为线路的标称带宽，而 20bit/s 则是某一时刻的实际带宽占用量。线路两边的设备会按照线路的标称带宽进行设计，因此标称带宽成了我们日常所描述的线路带宽的数值。比如 10/100M 以太网，就是指这根网线的标称带宽为 10/100Mbit/s。



看得见的“线”—— 有线网络的传输介质

1. 光纤

我们经常看到这样的描述：在一根头发丝粗细的光纤上，可以提供上万人同时打电话的容量。这只是一个简单的除法。对于一条 622Mbit/s 的光纤传送通道，如果传送 64kbit/s 的语音，那么能传送多少路呢？622Mbit/s 就是 4 条 155Mbit/s，就是 4 × 63 条 E1 线路，每条 E1 线路 30 路语音，这样下来就是 4 × 63 × 30 = 7 560 条语音线路。每条语音线路两个人，那么一共可以供 7 560 × 2=15 120 人同时打电话！这个人数接近于一个小城镇的总人口数了！

对光纤的研究，是光通信的基础。下面我们通过 3 个问题，来讲讲一些有关光纤的事儿。

第一个问题：光纤是如何传送信号的？

为了了解光纤是如何传送信号的，我们有必要看一看光纤的内部结构。

见过潜望镜吗？两块镜子装在一个盒子的两个拐角上，盒子两头开口，这样从一个开口就能看到另外一个开口外面的东西。潜望镜被广泛应用于潜水艇和坦克当中。可以做这样的假设，如果这个潜望镜缩小，再缩小，成为一根很细很短的线，并且把多根这样的线首尾相接，将会如何？对，从一头能看到另外一头的东西！这就是光纤，看似柔若无骨，其实可容宇宙！

下面我们把光纤剥开，看看里面到底是什么样子的吧。

通信中使用的光纤，其核心部分是由圆柱形玻璃纤芯和玻璃包层构成，最外层是一种弹



性耐磨的聚乙烯护套，整根光纤呈圆柱形，其典型结构如图 8-2 所示。

纤芯的粗细、材料和包层材料的折射率，对光纤的特性起着决定性作用。

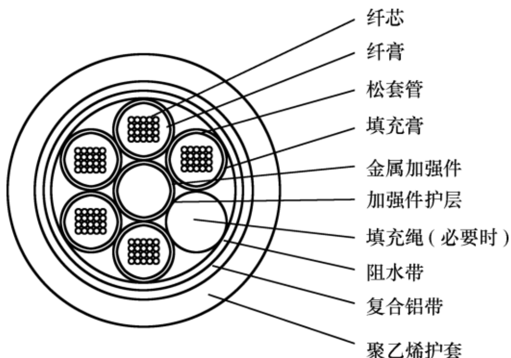


图 8-2　光纤的典型结构

光纤分为单模光纤和多模光纤。单模光纤纤芯极细，直径一般小于 10μm；多模光纤纤芯较粗，通常直径在 50μm。从光波长来区分，单模光纤一般承载 1 310nm 或者 1 550nm 波长的光波，而多模光纤则承载 850nm 或者 1 310nm 波长的光波。

光纤零成本，因为其原材料的主要成分是“硅”。硅？这个元素好熟悉啊！对，Intel 的 CPU 也是硅做的！所有的芯片都是硅做的！要不美国怎么把计算机业核心区叫做“硅谷”呢？全世界范围内所有地理范畴的“谷”都有硅。硅是泥土的主要组成部分，成本低廉，获取方便。反倒是光纤外表皮的石化制品成本更高一些。因为石油比泥土贵，无论太平盛世还是经济危机，情况恐怕都不会改变！

第二个问题：海底光缆是怎么埋下去的？

美国和中国是通过什么管线通信的？根据常规思维，无非两种途径：地上埋的，天上飞的。

天上飞的好理解，卫星！可是卫星的成本有多高？一颗卫星为了传送几百兆比特速率的数据，投入太大了！一颗卫星从设计、制造到发射，一般都在几十亿人民币，要使卫星成为带宽通道，价格高得令人咂舌！

那地上埋的如何理解呢？美国和中国之间，难道走加拿大—阿拉斯加—俄罗斯—中国？可是从阿拉斯加怎么到俄罗斯呢？它们之间没有陆地连接！中国和美国之间当然不像小品里开玩笑说的“要爬很多山要趟很多河”，而是浩瀚的太平洋，还有太平洋底深深的马里亚纳海沟！这是海底光缆大显神威的时候了。全世界能生产和铺设海底光缆的公司很少，成本也高昂（当然比卫星还是便宜很多）。

有专门的铺设海底光缆的船，这种专用的船上装有大量设施用于铺设海缆，船在海上边行驶边拉线。而海缆就直接铺设在海床上，光缆很粗很重，外皮有很强的耐腐蚀性，不用在上面埋泥沙之类的覆盖物，这样可以最少地触动周围的海底生态环境，并且增加海底生物的遮掩地和附着物面积，有利于海洋生态环境。一般来说，海底光缆本身的设计就必须保证光纤不受外力和环境的影响，要考虑海底压力、船锚和海洋生物的伤害（千万别指望在海底写上“光缆无铜，偷之无用”的标语来教育海洋生物）、渔船拖网，还要考虑铺设与回收时的张力，最重要的，还要具备远供电回路。海缆的维护也非常复杂，一般都是通过光脉冲来寻找断点。

第三个问题：我国的光纤网建设情况如何？

我国光纤研究从 20 世纪 70 年代中期开始起步，经过 30 多年的发展，光纤光缆产业已经



雄踞世界前列。我国的基础电信运营商，2008 年之前，所用光缆长度累计已达 400 多万千米，耗用光纤约 8 000 多万千米；加上广电、电力、石油等行业，全国所用光缆总长约为 500 多万千米，耗用光纤 1 亿多千米！20 世纪 90 年代，国内通信产业的飞速发展带动了光纤通信市场的快速增长。目前我国长途传输网的光纤化比重已超过 90%，国内已建成八纵八横的主干光纤网，覆盖全国 85%以上的县市。

我国著名的“八纵八横”通信干线，是前邮电部于 1988 年开始的全国性通信干线光纤工程，项目包含 22 条光缆干线、总长达 3 万多千米的大容量光纤通信干线传输网。其中值得一提的是，“兰（州）西（宁）拉（萨）”光缆干线穿越平均海拔 3 000 多米的高寒冻土区，全长 2 700 千米，是我国通信建设史上施工难度最大的工程！

何为“八纵八横”呢？

八纵是：哈尔滨—沈阳—大连—上海—广州；齐齐哈尔—北京—郑州—广州—海口—三亚；北京—上海；北京—广州；呼和浩特—广西北海；呼和浩特—昆明；西宁—拉萨；成都—南宁。

八横是：北京—兰州；青岛—银川；上海—西安；连云港—新疆伊宁；上海—重庆；杭州—成都；广州—南宁—昆明；广州—北海—昆明。

2. 同轴电缆

用金属做传送介质，在没有光缆的年代是绝对的主流。金属缆实际上可以承担高带宽的应用。所有的金属都能够导电，因为它们的电磁波通过能力很强。铜金属，因为在地球上蕴含量丰富（和金、银相比）、物理特性好（容易弯曲、不易折断、耐蚀性高）、电子特性优异（电阻系数小）而被首选为通信电缆的原材料。当然，在电力传输上，它因为相同的特点，也被选为电力传输的首选介质。

金属电缆在通信网的应用中，以同轴电缆和双绞线最为广泛。本节讲述同轴电缆，那么我们首先来看看同轴电缆的构造吧（如图 8-3 所示）。

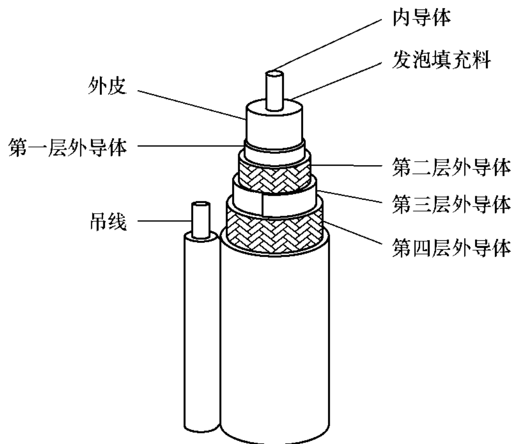


图 8-3　同轴电缆

同轴电缆由同轴的内外两个导体组成，内导体是一根金属线，外导体是一根圆柱形的套管，一般是细金属线编制成的网状结构，内外导体之间有绝缘层。电磁场封闭在内外导体之间，带来的好处是辐射损耗小，受外界干扰影响小。同轴电缆多用于 E1/T1 接口线缆、广电网络、设备的支架连线，有线电视，共用天线系统以及彩色或单色射频监视器的转送，在早期的计算机局域网中也经常使用[1]。在光纤出现以前，同轴电缆是传输容量最大的传输媒介。

---

[1] 就是局域网的 10Base2（细缆）和 10Base5（粗缆），当然现在都被 10BaseT 及其升级品所替代，已经基本退出了历史舞台。Base 后面的数字表示最大传送距离/100m。10Base2 最大传送 185m，10Base5 最大传送 500m。



同轴电缆有两种阻抗 75Ω和 50Ω。如果你把电缆的一头内外导体短路，从另外一头能够用万用表测量到其电阻。不同的传送需求，选用不同阻抗值的同轴电缆。比如用于视频传送的，一般采用 75Ω，这可不是随便定义的！因为在低功率应用中，材料及设计决定了电缆的最优阻抗为 75Ω。用于视频的同轴电缆，传输带宽可达 1GHz，目前常用 CATV 电缆的传输带宽为 750MHz，而同轴电缆的优质传送，是让每个家庭享受流畅、清晰、稳定的电视节目的基础！E1/T1 之间的同轴电缆也采用 75Ω阴抗。

同轴电缆的接头一般是用基础网络连接头——也就是大名鼎鼎的 BNC 接头，在第 19 章会有描述。

3. 双绞线

每一对双绞线由绞合在一起的相互绝缘的两根铜线组成，每根铜线的直径在 1mm 左右，可以用于模拟传输或数字传输。为什么把铜线“绞合”在一起呢？在通信中是为了抗干扰，也就是防止“噪声”对数据造成影响。注意，绞合的铜线不能屏蔽噪声，而是通过数学物理方法将噪声抵消，还原真实的数据信号。当然，双绞线的抗干扰能力无法和同轴电缆比，因此在传送多路语音的时候，一般会选择同轴电缆或者光缆而不是双绞线。那么双绞线最初的广泛应用就发生在一路语音的传送，这就是连接电话机的那根导线——电话线。物理学里面的“噪声”和平时生活中说的“噪声”是不同的。物理学中的很多“噪声”一般都不是真的发出声响，它们是传送过程中的其他电磁干扰，比如手机放到线缆旁边，手机发出的电磁波就会对线缆的磁场造成影响——因为这种电磁波也在铜金属的通过频率范围内，这就会对铜缆正在传送的数据造成破坏。双绞线就是一种比较廉价的减小这种破坏的传送介质。

除了电话线，计算机局域网也普遍使用双绞线线缆，如图 8-4 所示。局域网之所以“局域”，就是指范围不大，不需要传送很长的距离，但是传输的质量必须高，线缆所在环境条件一般都很差（比如可能经常弯曲），而需求量庞大（请读者估算一下全球有多少局域网吧！），需要低成本、部署灵活方便的解决方案。双绞线正好满足了这一点。

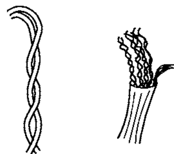


图 8-4　电话双绞线和局域网的双绞线

电话线一般采用一对或者两对双绞线，而局域网采用 4 对，这些“线对”都被装在一根套管里。也有将更多线对装入一根套管，这称为“大对数电缆”，一般用于从电信机房连接到室外的交接箱，从交接箱再通过若干对双绞线电缆分别连接到千家万户，用于语音通信或者 ISDN、xDSL 等的数据传输。大对数电缆在线缆铺设过程中更加方便。

计算机局域网中经常使用的双绞线有屏蔽和非屏蔽之分，屏蔽双绞线（STP，Shielded Twisted Pair）的抗干扰性好，性能高，用于远程中继线时，最大距离可以达到十几千米，这个距离已经突破了一般意义上的“局域网”。高性能决定了其高成本，而光纤完全可替代它并有更好的性能和更低的成本，所以 STP 一直没有广泛使用。应用广泛的是非屏蔽双绞线（UTP，Unshielded Twisted Pair），其传输距离一般为 100m 左右，有 1、2、3、4、5 共 5 类，常用的是 5 类线和 5 类的加强版——超 5 类线，5 类线、超 5 类线可支持 100/1 000Mbit/s 的以太网

连接，是连接桌面设备的首选传输介质。

双绞线两头可安装 RJ45 或者 RJ11 的水晶头，这个透明的头用于插入以太网交换机、HUB、计算机以太网卡或者其他 IP 设备的 RJ45 插孔；RJ11 接头用于插入电话机、PBX 的 RJ11 插孔。

双绞线也可被用于 E1/T1 信号的传送，由于线序不同，其两端的接口被称为 RJ48 接口。

在第 19 章会对 RJ45、RJ11 和 RJ48 做介绍。

4. 以太网延伸工具——光纤收发器（光猫）

5 类线传送 100m，根本无法满足远距离传送的要求，因此，人们发明了光纤收发器，用光纤延续 LAN 的信号，将接收来的以太网电信号转化为光信号，并在光纤上传送，到达目的地后再通过另外一台光纤收发器将信号接收后转化为电信号，送入路由或者交换设备或者终端上的电接口。

如果让 5 类线延长到 100m 以上，以太网效率就会严重降低，而采用光纤收发器，可以把 5 类线的电信号转化为单模或者多模的光信号并传送出去，在接收端用完全对称的方式把光信号还原为电信号。因此光纤收发器一般被当作以太网长距离延伸的工具。

由于光纤收发器简单、易用，人们给它起了一个有灵性的名字——“光猫”，如图 8-5 所示。

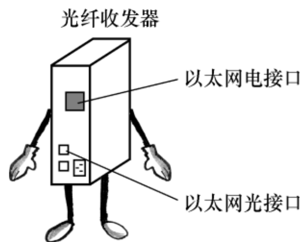


图 8-5　光纤收发器



有线传输设备和网络

从线路本身而言，其物理特征决定其传送的容限和特征。线路既不能做交换，也不能做路由，只能做传送——比如线路只会改变 IP 数据包的时间性能（延迟、抖动等），而无法改变 IP 数据包的内容参数（包头和净荷的内容）。线路的传送带宽取决于两边连接的设备的时钟频率[2]。

对于 100Mbit/s 以太网，在两台设备（有可能是以太网交换机、路由器、光纤收发器或者计算机网卡）之间连接 5 类双绞线或者光纤，这些线缆就是 100Mbit/s 速率的带宽，最大可以支撑 100Mbit/s 的数据流通过。

对于 622Mbit/s 的 SDH 环，在两台 SDH 的节点机（一般称为 ADM，即分插复用设备）之间用光纤连接，由于 ADM 的端口时钟频率为 622Mbit/s，因此光纤也具有 622Mbit/s 的传输速率，最大可支撑 622Mbit/s 的数据流通过。

线缆两端连接着设备，它们的作用是接收外部信号并进行有效的信号调整，以保证信号在接下来的线路上稳定传送，或者将调整后的信号通过某种方式呈现出来。

下面将介绍有线传送网的常用网络技术。

1. 光纤传输网先驱——PDH

PDH 是在光纤两端提供时钟和速率的较早设备之一，因此老杨将它称为传输网的“先驱”。

[2] 时钟频率的概念，将在第 17 章中讲解。



PDH 意思是“准同步数字序列”，说它是“准”同步，是因为 PDH 采用的不是真正的同步方式。PDH 只能用作点对点的情况，而不能像其继任者 SDH 那样呈环状布局。

PDH 最经典的设备是叫做“小八兆”的设备。在一对光纤两段各放置一台“小八兆”，这对光纤可以承载 4 个 E1/T1，如果是 4 个 E1，那么就是 8Mbit/s 速率。大家可以想象，在每个“小八兆”上还有 4 个 E1 接口，如图 8-6 所示。

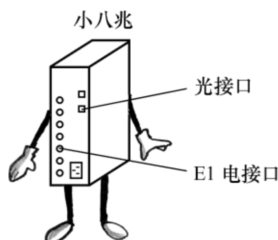


图 8-6　小八兆的设备

很多人混淆了 PDH 和光纤收发器的区别。这里强调一下，光纤收发器是用来传送 IP 数据包的，而 PDH 则是用来传送 TDM 信号的。

随着技术的进步，基础的传输网络几乎被 SDH、DWDM 等所统治；但是，在与信息高速公路相连接的支路和叉路上，PDH 设备仍有用武之地，尤其是企业语音接入、分支机构互连这种点到点的网络中，PDH 还被广泛应用。

2. 形形色色的接口转换器

之所以叫做“接口转换器”，是因为这些小盒子的两端，分别有一种数据接口，如以太网接口和 E1 接口、V.35 接口和 E1 接口。这就给人一种假象：它们把以太网接口和 E1 接口做了一个“转换”或者把 V.35 接口和 E1 接口做了一个“转换”。其实，通信中的“接口转换”，技术原理都不是那么简单。信号因接口转换而改变了传送方式，其各种参数都可能发生变化，因此任何两个接口之间都没有那么容易“转换”，下面以两种常用的接口转换器为例来看看所谓“接口转换”的过程。

（1）V.35 转 E1

V.35 是比特数据流业务，并没有 PCM 中“时隙”的概念，一般都是小于 2Mbit/s 的数字业务。可以把 V.35 数据流插入 E1 的数据信道中传送，这时候 E1 的 1～31 时隙都可以被占用，包括第 16 时隙[3]。V.35 中数据是什么协议，转换器并不关心，只是简单机械地将其拆分并填入 E1 时隙中。这还分以下两种情况。

一种情况是将 V.35 数据流插入非信道化 E1（Unchannelized E1）中，也就是说，数据流任意插入 E1 的时隙里面，并耗费整个 E1 端口以及与之连接的整个 E1 线路。

另外一种情况是将 V.35 数据流插入信道化 E1（Channelizd E1）中，该 E1 端口和与之相连的 E1 链路都还可以再分出其他空闲时隙，用于其他链路的传送。

（2）以太网转 E1

技术本身非常简单，就是将以太网的帧插入 E1 的数据信道。这“似乎”没有任何技术含量，可以把 E1 的时隙想象为不作任何协议处理的一个通道，把以太网帧的每个字节放入每个时隙中传送。这里有一个问题，我们知道 E1 的传送速率是 2 048kbit/s，能够承载数据的信道是 1 920kbit/s 或者 1 984kbit/s，而以太网的瞬时传送速率经常为 10Mbit/s、100Mbit/s，即使只有 5Mbit/s 的流量，对于只有 2Mbit/s 不到的 E1 数据信道来说，拥塞不可避免。解决这个问题的方法是，在这种转换器里面加入一个缓存器，当有突发的以太网数据流到来，它先缓存

[3] E1 的第 16 时隙可以用于传送数据，也可以空闲，在语音信道中，第 16 时隙必须作为信令时隙。

一部分数据，等前面的数据传送完毕，再传送缓存器的数据。当然，如果遇到“后浪推前浪”的以太网数据流，丢失一定的数据是不可避免的。这一问题并没有使用新的转换技术来解决，专家们引入了一个擅长解决局域网远途互连的技术——帧中继。在第 10 章会介绍这种技术，而本节介绍的转换器，只是一种透明的传送设备，对拥塞的控制能力极其有限。

与上文 V.35 转 E1 的接口转换器类似，以太网转 E1 转换器也分两种情况，信道化 E1 和非信道化 E1，非信道化 E1 将独享整个 E1 端口和与之相连的 E1 链路，如图 8-7 所示。

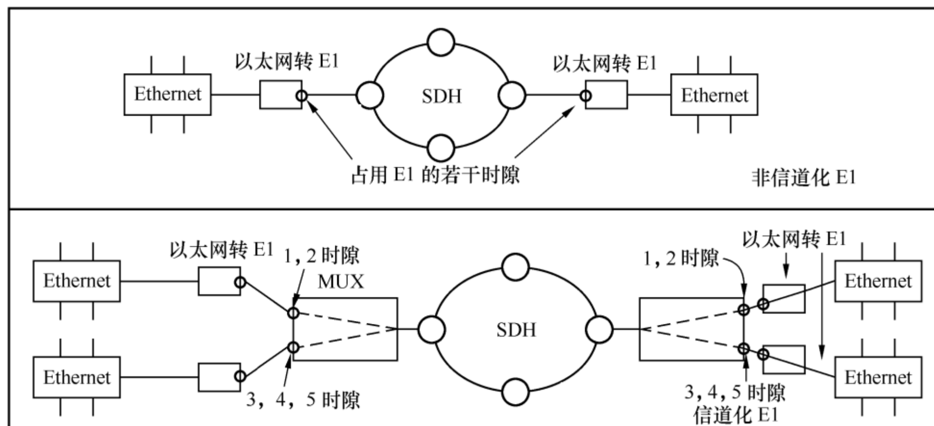


图 8-7　非信道化 E1 和信道化 E1 的区别

除了上述两种转换器，还有很多不常见的转换器，如 E1 转以太网接口。注意，E1 转以太网和以太网转 E1 是完全不同的两种情况。E1 转以太网接口，是将 E1 时隙中的数据插入以太网的数据净荷里，通过以太网传送到对端还原为 E1。A 转 B，是指两边是 A 网，中间利用 B 网传送。因此 A 转 B 和 B 转 A 是完全不同的两回事。

3. 传输网常青树——SDH

不了解 SDH 就不了解通信网。美国 bellcore 公司率先于 20 世纪 80 年代提出了 SONET（Synchronous Optical NETwork），美国国家标准协会（ANSI）通过一系列有关 SONET 标准，尔后 ITU 的前身 CCITT 接受了 SONET 概念，并将其重新定名为“同步数字系列”，使之成为不仅适用于光纤也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。同步数字系列就是我们常说的 SDH（Synchronous Digital Hierarchy，这里面的单词 Hierarchy 并不常见，它一般是指“序列”，表明 SDH 不是单一速率，而是有一个系列的速率，相互之间有某种内在联系）。通常 SDH/SONET，称为“光同步数字传输网”，它已经成为通信网中“传输网”的代名词。从 PDH 到 SDH，是一次重大革命。

PDH 无法组成环网、没有倒换保护机制，而 SDH 在这一方面堪称完美！

SDH 拥有全世界统一的网络节点接口（NNI），它是真正的数字传输体制上的国际性标准。既然是“标准”，谁支持它，谁就能和所有支持它的其他设备对接、兼容、配合。很长一段时间，世界各国数字通信设备基本上都采用 PDH。PCM 有两种不同的地区性数字体制标准：一种是俄罗斯、欧洲和中国采用的以 2.048Mbit/s 为基础的 PCM32；另一种是北美和日本系列，



以 1.544Mbit/s 为基础的 PCM24。由于这两种系列具有不同的比特率，因此各个国家的设备只有通过光/电转换变成标准电接口才能互通，在光路上则无法实现互相调配。这给国际间互连互通带来了巨大的障碍！SDH 横空出世，带着一套开放的标准化光接口，使 PDH 的两大数字系列得以兼容，可以方便地在光路上实现不同厂家新产品的互通，使信号传输、复用和交换过程得到极大简化，成本大幅降低，效率获得了大幅提高！

SDH 当然还有诸多好处，老杨介绍如下。

- 它拥有一套标准化的信息结构等级，称为同步传送模块（STM，第 4 章我们已经介绍过），并采用同步复用方式，使得利用软件就可以从高速复用信号中一次分出、插入低速支路信号，不仅简化了上下话路的业务，也使交叉连接得以方便实现。
- SDH 拥有丰富的开销比特（约占信号的 5%），以用于网络的运行、维护，并实现了远程管理。
- SDH 具有自愈保护功能，可大大提高网络的通信质量和应付紧急状况的能力。第 6 章中我们已经介绍过 SDH 的环保护能力。
- SDH 网结构有很强的适应性，它就像航空母舰，可以装载多种类型的信号，PDH、ATM、IP 甚至 Ethernet 都能够在这艘航空母舰上承载。

基于上述原因，把 SDH 当作基础的承载网络，实属必然！

4. 新传输技术：波分复用 WDM

光通信系统可以按照不同的方式进行分类。如果按照信号的复用方式来进行分类，可分为频分复用系统、时分复用系统、波分复用（WDM，WavelengthDivision Multiplexing）系统和空分复用（SDM-Space Division Multiplexing）系统。所谓频分、时分、波分和空分复用，是指按频率、时间、波长和空间来进行分割的光通信系统。应当说，频率和波长是紧密相关的[4]，“频分”本应和“波分”没有区别，但在光通信系统中，由于波分复用系统采用专门的光学分光元件分离波长，不同于一般通信中采用的滤波器（限制不需要的频率通过的装置），所以两者属于完全不同的系统。

WDM 利用一根光纤可以同时传输多个不同波长的光载波的特点，把光纤可能应用的波长范围划分成若干个“波段”，每个波段作为一个独立的通道，来传输一种预定波长的光信号，如图 8-9 所示。光波分复用的实质是在光纤上进行光频分复用（OFDM），只是因为光波通常采用波长参数而不用频率参数来描述、监测与控制。随着电—光技术的向前发展，在同一光纤中波长的密度会变得很高。因而，使用术语“密集波分复用（DWDM，Dense WDM）”。与此对照，还有波长密度较低的 WDM 系统，较低密度的就称为“粗波分复用（CWDM，Coarse WDM）”。

这里可以将一根光纤看作是一个“多车道”的公用道路，传统的 TDM 系统只不过利用了这条道路的一条车道，提高传送速率就相当于在这条车道上加快行驶速度，来增加单位时间内的运输量。而使用 DWDM 技术，类似利用公用道路上尚未使用的车道，以获取光纤中未开发的巨大传输能力。图 8-8 所示的就是 WDM 系统的原理和光谱示意图。

---

[4] $c = \lambda f$，频率 f 与波长 λ 的乘积则是光速 c，光速 c 是恒定的，波长 λ 和频率 f 成反比关系。

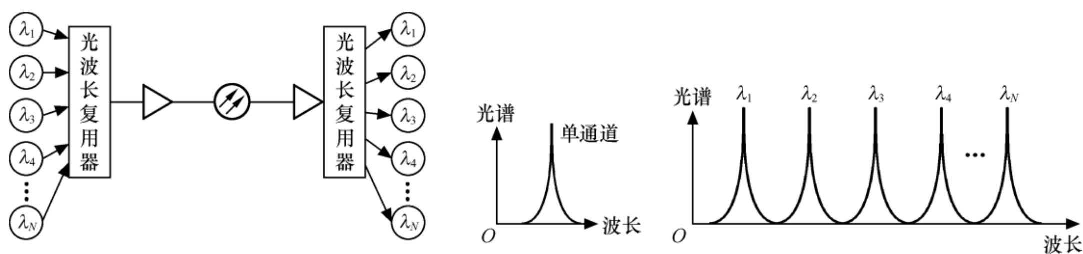


图 8-8　WDM 系统的原理和光谱示意图

光波分复用一般应用波长分割复用器（这是比吉列刀片都厉害千万倍的一种特殊的“刀片”）和解复用器分别置于光纤两端，实现不同光波的“耦合”（复用）与“分离”（解复用）。

目前，由于 WDM 对光发射机、光接收机等设备要求较高，技术实施有一定难度，同时多纤芯光缆的应用未出现特别紧缺的局面，因而 WDM 的实际应用还不多。另外，WDM 技术无法实现像 SDH 这样的倒换功能，如果发生线路中断，都是由架构在 WDM 上层的 SDH 来实现倒换的，这时候 WDM 就像一根根独立的光纤一样。如果 WDM 上层未架构 SDH，线路中断对 WDM 而言是灭顶之灾——泰坦尼克号的海难当然比一艘小游艇发生的灾难影响更大！

5. ASON：自动光交换技术

光网络从 PDH 到 SDH，又从 SDH 到 WDM，最终实现从 DWDM 向全光网络的过渡。ASON 已经超脱了传统意义上的“传送网”的范畴，因为它采用光交换，使传送网和数据网同时得到了迅速发展。一个事物发展过程中，从量变到质变，不同行业不断融合，新生事物很可能跨领域、跨行业。这其实很有趣，正所谓“合久必分，分久必合”。传输和数据网在刚刚发展起来的时候，是一回事，后来它们各自向前发展，传输经历了 PDH、SDH、DWDM 等重大变革，而数据网则沿着 X.25、DDN、FR、ATM、IP 的轨迹不断发展。MSTP[5]、EOS[6]、POS[7]都是两者之间融合的产物。传输网的发展与后面所讲的语音网、数据网的发展，都像人类的进化一样，从简单到复杂，从低级到高级，如图 8-9 所示。

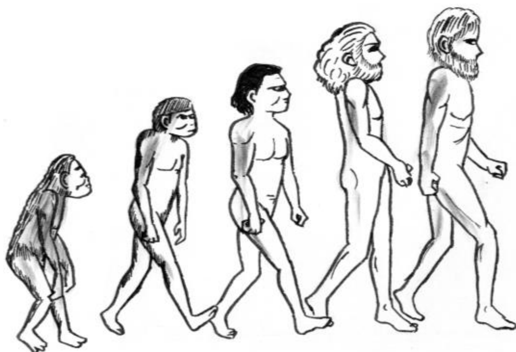


图 8-9　光通信的逐步演进过程，有如人类的进化史

我们先看看 ASON 的定义：自动交换光网络（ASON，Automatic Switched Optical Network）是指在自动交换光网络的信令网控制下，完成光传送网内光网络自动交换功能的新型网络，它支持电子或光交换设备动态

[5] 英文全称是 Multi Services Transport Platform，多业务传送平台。第 10 章将详细介绍。
[6] 英文全称是 Ethernet over SDH。它是将以太网帧封装到 SDH 帧结构中的技术。
[7] 英文全称是 Packet over SDH。它是将 IP 包封装到 SDH 帧结构中的技术。



地向光网络申请带宽资源，可以根据网络中业务分布模式动态变化的需求，通过信令系统或者管理平面自主地去建立或拆除光通道，而不需要人工干预。

ASON 的诞生，让数据网和传输网彻底打破了界限，其融合特性比 MSTP 和 PON[8]要高许多，更加适合于 IP 网络的传送和交换！

与其他通信技术一样，ASON 也分为管理部分、控制部分和传送部分。最核心的部分是控制和传送部分。传送部分分为光交叉连接节点（OXC）和光分插复用节点（OADM）。与 SDH 技术类比来考虑，OXC 用于交换光信号的交换，而 OADM 用于“下电路”——不，是下“光路”。交换的标识符自然是光的频率。

ASON 用于核心骨干网络中，与现有的 DWDM、SDH、IP/MPLS 可以混合组网，实现真正意义的路由设置、端到端业务调度和网络自动恢复，它是光传送网的一次里程碑式的重大突破。比如对于 SDH 技术，虽然可以倒换保护，但是交换能力不强，人工建链导致分配电路不够灵活；对于波分复用的 DWDM 技术，只能形成点对点组网，没有 SDH 这样的环保护能力；而 ASON 则可以采用环状、网状组网，从而保证骨干网光路自由倒换，最大限度地支撑骨干网的安全性。目前 ASON 还处于初步研讨和试验网阶段，并未大规模部署。

专家们宣称，ASON 是未来 OTN（Optical Transport Network，光传送网）的技术基础。其规模应用，已经为时不远！



别拿空气不当导体——无线传输技术

几十年前，中国国内的无线网络覆盖曾极其发达。这种无线网络的接收终端，我们称为“半导体收音机”。20 世纪六七十年代，它和缝纫机、自行车、手表一起，被新婚家庭奉为“三转一响”。接下来大家熟知的无线网络应用，是无线电视。在有线电视网普及以前，电视机都是靠天线接收电视信号的。直到 20 世纪末，各种电信意义上的无线固定和移动网络才获得广泛应用。

“无线网”是一个笼统的概念，不用线缆的传输都是无线传输。无线网最大的优势是不用挖沟埋线，不用架设若干电线杆，甚至终端都可以在一定范围内自由移动！

根据频率、应用场合、传送信号类型的不同，常见的无线网络通信系统有无线 PDH、Wi-Fi、移动网、WiMax、蓝牙、对讲系统 、LMDS、MMDS、卫星等。无线网络既可以传送模拟信号，也可以传送数字信号，最重要的是，有线网络能够提供的业务，无线网络也悉数能够提供。

无线通信技术中的一些重要分支，已经完全独立并成为专门的通信学科，如卫星通信将在下一节专门介绍，而移动通信，我们会在第 13 章详细介绍。

1. 微波通信

微波是我们常用的一种物质，它无色无味却能量强大。物理学中的微波，是指频率在

[8] PON 的英文全称是 Passice Optical Network，无源光网络，第 10 章将详细介绍。



300MHz～300GHz 的微波信号，波长在 0.1mm～1m 的电磁波，也叫做“超高频电磁波”，说它“高”，是和一般的电磁波相比；说它“微”，是指波长值很小。

通信中使用的微波频率有以下几个具体的波段（如图 8-10 所示）。

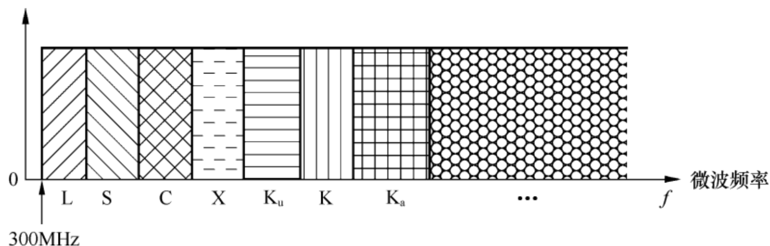


图 8-10　微波频率的几个波段

L 波段：1～2GHz，常用于移动通信。

S 波段：2～4GHz，主要应用于微波接力通信和地球站之间的卫星通信。

C 波段：4～8GHz；主要应用于微波接力通信和地球站之间的卫星通信，C 波段是其中应用最多的。

X 波段：8～13GHz；主要应用于微波接力通信和地球站之间的卫星通信。

Ku 波段：13～18GHz；主要应用于微波接力通信和地球站之间的卫星通信。

K 波段：18～28GHz；应用于空间通信和近距离的地面通信。

Ka 波段：28～40GHz：应用于地球站与空间站之间的通信。

微波站的设备包括天线、收发信机、调制器、多路复用设备以及电源设备、自动控制设备组成。天线是所有无线设备必需的发送和接收装置，电视机、广播、手机都有天线，有的终端产品会把天线隐藏起来。微波通信中，为了把电波聚集起来成为波束送至远方，一般都采用抛物面天线，就是常见的“大锅”，其聚焦作用可大大增加传送距离。PDH 微波、SDH 微波设备在通信网中都有比较广泛的应用。

通信专家之所以把微波作为通信的首选频段，是因为微波的频带宽、容量大，利用这个特点，微波传送电话、电报、数据、传真以及彩色电视等成为可能。微波通信具有良好的抗灾性能，在水灾、风灾以及地震等自然灾害中，微波通信一般都不受影响。但微波经空中传送，易受干扰，在同一微波电路上不能在同一方向使用相同频率，因此微波电路必须在无线电管理部门的严格管理之下进行建设，防止频率冲突造成信号的传送出现问题——这可不像有线网络只要把线埋好就能通信。此外，由于微波直线传播的特性，在电波波束方向上，不能有高楼阻挡，因此城市规划部门都会考虑城市空间微波通道的规划，使之不受高楼的阻隔而影响通信。

2．扩频：跳频和直接序列

在无线通信技术上，有两个名词经常被提及——“扩频”和“跳频”技术。老杨需要交代一下这两种技术体制的基本原理和应用场景。

“扩频”就是扩展频带的宽度，简单的理念是将一个窄带传输“隐藏”在一个宽带传输中。扩频通信是把通信信号所占用的频带宽度扩展成比信息带宽高许多倍后进行传输的技术，方



法是通过“扩展”或者“涂抹”的方法。一般采用两种技术：跳频（FHSS）和直接序列（DSSS）。

在传统的无线通信系统中，为了节约宝贵的频率资源，在能保证通信质量的前提下，总是尽量采用最窄的带宽；而扩频通信却总是反其道而行之，也正因此，它有很强的抗干扰性能，因此首先被用于军事通信。由于在军事通信中，通信的安全可靠最为重要。现在，扩频通信已经成为现在电子战中不可或缺的通信手段，并且在雷达、导航、遥控、跟踪等多个领域广泛应用。近年来，随着民用通信的迅速发展，扩频通信也广泛应用于移动通信、卫星通信等领域。

扩频通信技术，是在发送端先对要传送的信号进行信息调制，形成数字信号，然后由扩频码发生器产生的扩频码序列去调制数字信号，以“展宽”信号的频谱（一般是扩展到 100～1 000 倍）；展宽后的信号再经射频调制后发射出去。在接收端，收到的带宽射频信号变频至中频后，再用相同的“扩频码序列”进行同步“解扩”，使被传送的扩频信号恢复成原来的信号，这就像把小麦和稗草分离一样。

我们不妨把带宽想象成联合国的会议室，各种肤色的人将进入这个会议室。如果人人都使用完全不同的语言，他们就会受到别人谈话的干扰。在这里，屋里的空气可以被想象成宽带的载波，而不同的语言即被当作编码，我们可以不断地增加房子里的人数直到整个背景噪声“限制”了我们——再增加人，干扰太大，就无法让他们正常通话了！如果能控制用户的信号强度，在保持高质量通话的同时，我们就可以容纳更多的用户。这就是扩频的核心思想。



无线电通信由于它的灵活性，常常被用作战时通信。但是，传统的无线电通信都是在某固定频率下工作的，很容易被敌方截获或施加电子干扰，使这种通信方式不起作用。二战的时候，联军非常担心轴心国利用无线电信号干扰自己的无线电系统，从而导致从潜水艇发射的鱼雷偏离预定的目标。为此，两个专家进行了研究并申请了专利。有趣的是，这两位专家，一位是管弦乐作曲家乔治·安西，另一位是电影明星兼电力工程师马凯，他们利用一个中央的“权力中心”与两个终端设备进行通信，指导这两个设备随机地从一个频率跳转到另外一个频率，而且时间点和时间间隔也是随机的（比如 5s），只有基地和两个设备知道什么时候跳变、跳变到哪里以及跳变持续多长时间。从外部来看，这个跳频的过程似乎完全是随机的，基地精确地知道它在做什么以及什么时间做，所以跳频行为上实际不是真正的随机，因此有了个术语叫做“伪随机”。音乐家发明这种技术一点都不奇怪，指挥棒和乐器之间的默契配合，和跳频技术是否有几分神似呢？目前的 CDMA 网络普遍采用 FHSS，这就是为什么 CDMA 运营商宣传自己网络的安全性好。在现代化战争中，FHSS 也在发挥巨大的作用。

DSSS 的思想和 FHSS 完全不同。它又称为“噪声调制扩频”。在应用中，实际信号与一个精心挑选过的“噪声”信号相结合（**不对吧，老杨，我们花那么大精力把噪声过滤掉，你可倒好，要把噪声再引入进来，这不是“引狼入室”么？！别急啊各位看官，专家毕竟是专家，就有这个“变废为宝”的本事！**）本来的窄带信号，可以通过这个噪声被扩展到一个相当宽的频道上，比如 1.25MHz；数据流中的比特与噪声比特相结合形成更宽的信号；并且像以前一样，只有信源和信宿设备知道把

实际信号从噪声中分离出来的密码。这个密码有时被称为“碎片信号”。用噪声隐藏你的信息，而通信双方只要知道这个噪声的特性，那么有效信号将安全地被传送！这就是精妙之处！

通信技术一脉相承。FHSS 和 DSSS 构成了原来无线 LAN 标准的功能基础，并最终被融合进我们再熟悉不过的 Wi-Fi 中。

3. Wi–Fi

Wi-Fi 技术目前在家庭、办公室中的应用已经非常广泛了。老杨首先介绍一下 Wi-Fi 命名的由来。Wi-Fi 是 Wireless Fidelity（无线保真度）的缩写。现在，Wi-Fi 经常作为无线局域网（WLAN）的代名词。它常常和 WiMAX 被同时提及，WiMAX 将在第 13 章进行介绍。

Wi-Fi 的历史，要从一个叫做“无线以太网兼容性联盟”的组织说起。这个组织的任务是对不同厂商生产的无线局域网（WLAN）设备之间的互通性进行认证。现在这个组织已经改名为“Wi-Fi 联盟”，它认证的根据是美国电气和电子工程师学会（IEEE）通过的 802.11b 标准。经过 Wi-Fi 联盟认证的标志，在产品上贴有“Wi-Fi”的标志，发给“Wi-Fi”证书。

WLAN 的最初目的是在传统的局域网中引入无线的概念，从而使局域网中的用户可以摆脱线缆的束缚而具有一定的移动性。WLAN 使用高频率波段，发射功率比一般手机还要微弱，所以对人体没有危害，通常也不会与家用或办公电器相互干扰。况且，它本身留有 12 个信道可供调整选择。

WLAN 不仅使人们享受到无线上网的乐趣，使企业的办公环境更加整洁，在建筑物里无需复杂的布线，只需要在局域网任何一个终端位置部署访问节点（AP，Access Point）——其实就是我们常用的无线路由器，安装有 Wi-Fi 终端的计算机就可以接入局域网了。

在 802.11b 标准中，还使用了可随环境变化的“动态速率漂移”，其速率可在 11Mbit/s、5Mbit/s、2Mbit/s 和 1Mbit/s 之间切换。同时，无线网卡、桥接器的价格也在逐渐下降，这一切，都促进了 Wi-Fi 走入普通百姓的生活（如图 8-11 所示）。近年来，Wi-Fi 技术发展异常迅速，802.11b 出现了很多变形和升级版本，如 802.11a、802.11g 等，其速率已经高达 54Mbit/s，技术基础也由 DSSS 变成了 OFDM。令人期待的是，下一代 Wi-Fi 标准 802.11n 采用导入多重输入输出（MIMO）技术，已经将其速率提到到了 540Mbit/s！请各位不要惊掉了大牙！下一节，我们还真要讨论似乎和“牙”有关的技术。

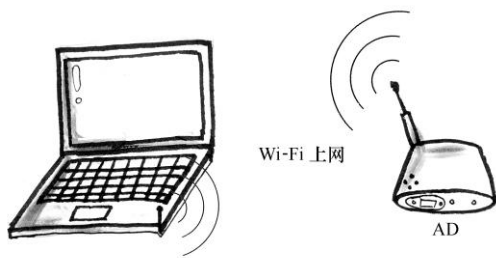


图 8-11　家庭生活中用 Wi-Fi 上网

4. 蓝牙技术

蓝牙技术 Blue Tooth 是由几个终端厂家联合起来制定的统一标准，目的是实现终端之间短距离数据传送，比如手机和耳机之间、笔记本和手机之间、笔记本之间的数据传送。由于其传输速率不高，传输距离也不能太远，因此被称为“短距离无线电技术”之一。





说起“蓝牙”的名称由来，有一种说法还真与牙齿有关：狼牙在月夜里会发出蓝光，而狼牙虽然参差不齐却能紧紧地啮合在一起，这种短距离无线电技术正是希望将外形各异、用途迥异的终端设备“啮合”在一起，故得名“蓝牙”。较权威的解释是：这个称呼来自于公元 10 世纪丹麦的一位国王 Viking 的绰号——Bluetooth。这位国王将当时的瑞典、芬兰与丹麦成功地统一起来，今天用他的名字来命名这一新的技术标准，显然含有将计算机行业、通信行业、家电行业等各自为战的局面统一起来的美好愿望。

利用小巧灵活的蓝牙技术，PDA、笔记本电脑和手机等移动通信终端设备之间的通信变得非常简单。同时，还可以利用蓝牙让这些设备与互联网通信。说得通俗一点，就是蓝牙技术可使一些能随身携带的移动通信设备和电脑设备，不必借助电缆就能连网，并且能够实现无线接入互联网，其实际应用范围还可以拓展到各种家电产品、消费电子产品和汽车等信息家电。

蓝牙产品采用的是跳频技术，能够抗信号衰落，有效地减少同频干扰，提高通信的安全性。它运行于在全球范围开放的 2.4GHz 频段上，设备小巧、简单、可靠。

如果各位认为蓝牙技术的传送速率不够高，传送跟离也不够远，那么接下来给各位介绍的，就是大带宽远距离无线传送技术，人称“无线光纤”的 MMDS 和 LMDS。

5. 无线光纤——MMDS 和 LMDS

10GHz 以上的点到多点固定无线传输设备一般称为本地多点分配系统（LMDS，Local Multipoint Distribution System），而 3.5GHz 频率的设备被称为多通道微波分配系统（MMDS，Multichannel Microwave Distribution System）。中国已经在多个城市商用了这两种系统。LMDS 除了军方的 10.6GHz 频率外，还可应用在 26GHz、28GHz、31GHz、38GHz 等频率上。LMDS 和 MMDS 被称为“无线光纤”，可见在无线设备中，他们的带宽是很高的。这类设备一般都采用一个基站的多个扇区对应多个远端节点的接收装置，不同的厂家将 LMDS 和 MMDS 设计为可支持 IP、TDM 等透明数据通道，用以解决最后一千米的数据、语音接入问题。MMDS 一般的可用带宽为双向几十兆比特每秒，而 LMDS 则带宽可高达一百多兆比特每秒——这就是它们被称为无线光纤的理由。LMDS 采用高频率，因此器件成本也远高于 MMDS。

高频率的无线电波，优势是可使用的带宽高，缺点是受外界环境影响较大，越是频率高，雨衰就更加严重。尤其是在我国南方湿热空气中，LMDS 很难发挥它的“无线光纤”的作用。

6. WAPI

WAPI 是我国自行制订的无线网传输标准，这一点与 TD-SCDMA 类似。但是，在实际标准化过程中，它的经历却与 TD-SCDMA 大相径庭。

WAPI 是 WLAN Authentication and Privacy Infrastructure 的英文缩写，即“无线局域网鉴别与保密基础结构”，是无线局域网（WLAN）中的一种传输协议，它与现行的 802.11b 传输协议比较相近。WAPI 是针对 IEEE 802.11 中 WEP 协议安全问题，经反复论证并充分考虑各种应用模式，在中国无线局域网国家标准 GB 15629.11 中提出的 WLAN 安全解决方案。同时，这个方案已由 ISO/IEC 授权的 IEEE 注册权威机构审查并获得认可，甚至分配了用于 WAPI 协议的以太类型字段。但在 2005 年，ISO 的 SC6 法兰克福会议上，由于 JTC1 秘书处和 IEEE

的反对，WAPI 冲刺国际标准的计划搁浅，这是由国际间深层次的利益争斗造成的。与 WAPI 竞争的是 802.11i。

7. 其他无线通信技术

新的无线通信技术层出不穷，老杨给各位介绍几种。

- 超宽带（Ultra Wide Band，UWB）：该技术是一种以极低的功率（约 20mW），在极宽的频率范围内（最高可达 7.5GHz），以极高的速率（可达 500Mbit/s）传输信息的无线通信技术。该技术最早应用于雷达及防窃听等军事通信。它被认为是未来无线个人的首选技术。
- ZigBee 技术：这是一种耗电极低的短距离无线网络技术。取名 ZigBee，据说是取蜜蜂用曲折的舞蹈方式表示采蜜方向的含义。对于这种技术，2001 年就成立了一个叫做“ZigBee 联盟”的组织，希望研究开发一种拓展性强、便于部署的低成本无线网络，可以广泛应用于家庭、办公室等小范围内，实现家用电器的自动控制以及环境信息的自动采集测量等。
- Z-Wave 技术：Z-Wave 是一种低成本、低能耗、高可靠性的短距离双向无线通信技术，主要应用于家庭自动化、小型工业控制等领域。该技术工作于 868/908MHz 频段，有效覆盖范围在室内是 30m，室外露天大于 100m。最大数据传送速率只有 9.6kbit/s，是一种窄带应用，不适合用来传送音频、视频等数字信号，只用来传送各种控制信号。
- RFID 技术：即无线射频识别技术（RFID，Radio Frequency Identification），它是近年来 IT 厂商竞相开发的一种热门应用技术。它利用无线电射频与被识别物体进行双向通信，实现数据交换，从而达到识别物体的目的。由于其识别过程无需与物体直接接触，因而被称作“非接触式射频识别”。
- 无线 Mesh 网：又称为“无线网状网”或者“无线多路网”。它可以与各种宽带接入技术和 3G 移动通信技术结合在一起，组成一个含有多跳无线链路的无线网状网。传统的无线接入技术，主要采用点到点或点到多点的拓扑结构，这种结构一般都存在一个像移动通信基站那样的中心节点。而在无线 Mesh 网络中，采用一种多点到多点的网状拓扑结构。在这种结构中，各个网络节点通过相邻的其他网络节点，以无线多路的方式相连。这种无线网状网的组网方式，可以大大增加系统的覆盖范围，同时可以提高系统的宽带容量和通信的可靠性。

在所有已经介绍过的无线通信技术中，没有绝对高度超过 1km 的。最后要给各位读者介绍的，在所有通信门类中绝对可称为“鹤立鸡群”，那就是卫星通信。



高空孤独的通信巨人——卫星通信

卫星通信，顾名思义，通过卫星进行通信。严格来讲，就是地球上（包括地面和低层大气中）的无线电通信站间利用卫星作为中继而进行的通信，当然，它也属于无线通信技术。卫星通信系统包含哪些呢？首先，要有一颗神奇的、挂在天上的卫星。（别笑，没卫星能叫卫星通信吗？）卫星孤独地挂在天空，成为高空孤独的通信工具。然后，需要地球上有一系列



装置和这颗卫星进行配合。既然是悬挂在地球上面如此之高的卫星，那么卫星通信的通信范围就很大；只要在卫星发射的电波所覆盖的范围内，任何两点之间都可进行通信，并且不易受陆地灾害的影响，可靠性高；只要设置地球站电路即可迅速开通；同时可在多处接收，能经济地实现广播、多址通信。

我们可以想象，手电筒照射一个球体，手电筒距离这个球体越远，球体表面被照射到的部分越大，反之，被照射到的部分越小。卫星是在地球以外的轨道上运行，其“照射”范围远远大于地球上的其他无线通信设施，因此其通信范围非常大。

那么通信卫星到底距离地球有多高呢？我们知道，波音飞机距离地球的距离是 10 000m（也就是 10km），而卫星呢？一般被发射在赤道上方 3 600km 的同步轨道上，另外也有中低轨道的小卫星通信，如 Motorola 公司设计的铱星系统（因准备发射的卫星数量和“铱”原子的电子数量一致而得名）。

卫星在空中起“中继站”的作用，即把地球站发上来的电磁波放大后再反送回另一地球站，就像在空中放了一面镜子，卫星只需要“反射”一下电磁波即可。由于静止卫星在赤道上空 3 600km，它绕地球一周时间恰好与地球自转一周一致，也就是我们常说的“一天”的时间，23h56min4s。站在地球上的人向天空看卫星，卫星仿佛静止不动。三颗相距 120° 的卫星就能覆盖整个赤道圆周。也就是说，人类只要发射 3 颗卫星，不考虑卫星容量问题，单纯从是否能与地面站联系的角度来说，就足够用了。所以，卫星通信很容易实现越洋和洲际通信。卫星通信其实是一种特殊的微波通信，因为它工作在 1～10GHz 频段，从前面我们了解的情况看，也属于微波频段。当然，人类的需求是无止境的，科学家们为了满足越来越多的需求，已开始研究应用新的频段。

发射卫星技术要求高、所涉及的技术类型众多，因此发射卫星的水平和数量，与国家的综合实力密切相关。用卫星进行通信的成本也极其高昂，采用卫星线路，一般都是按照 kbit/s 计算带宽，并且和目前在地球上的有线、无线通信线路比起来，卫星通信的成本呈数量级增长。即便如此，卫星通信还是有其不可替代的优势。在地球上大量有线、无线网络无法覆盖的地方，卫星通信就成了唯一的通信介质。古有“烽火连三月，家书抵万金”的名句，今天有“深山孤岛处，通信靠卫星”的现实。有了卫星通信，全球几乎任何一个角落都有通信介质可供人类使用。卫星通信成本虽高，但是对使用它的用户来说，绝对物有所值！无论从卫星的体积、成本、技术含量以及它所处的高度，都当之无愧是通信设施中的“巨人”。

卫星通信是人们最容易产生遐想的通信技术之一，很多 UFO 爱好者同时也是卫星通信爱好者。当今卫星通信发展迅猛，例如著名的甚小口径天线地球站（VSAT）系统，以及中低轨道的移动卫星通信系统，都受到了人们广泛的关注和应用。

1972 年中国发射了第一颗人造地球卫星“东方红一号”以后，卫星通信在我国首次被应用，并迅速发展。目前银行、民航、石化、水电、气象、地震预警、证券等行业和部门都建有专用卫星通信网，大多采用 VSAT 系统，全国已有几千个地球站。



第9章 Chapter 9

电话交换网

现在老杨将带领各位读者进入各个应用网络，让大家领略现代化通信的博大精深，并了解应用网络的基础知识。与所有其他通信类教科书一样，老杨也将先从公众电话交换网（PSTN）讲起。

本章的目的很简单，就是让各位明白——电话是怎么打通的。



自动交换：就来自于那次“灵感一闪”

人人都知道，电话至少要两方参与才能完成一个通话过程。任何事物的发展都是从最简单、最基本的形态开始的，因此大家都能想象到，最早的电话网一定只有点对点的“一根线”！那时候的电话用户少，电话是名副其实的“奢侈品”——其实不要说 100 多年前电话刚发明的时候，就算是在 20 世纪后期，电话对中国人而言，不也是奢侈品么？高昂的初装费、座机费和通话费，对于大部分家庭而言，都是一笔不小的投资。

随着用户数逐渐增多，电话网络结构逐渐变得复杂，超过 4 个电话用户时，任何两点之间都直接拉电话线是不现实的。于是，出现了人工接线员。当 A 要和 B 通话，A 只要摘机，就接通了接线员；接线员会问，“您要哪里？” A 回答：“我找 B”。接线员会手动把 A 和 B 的线路连接起来，电话就接通了。



问题说来就来。这个问题最早发生在两个殡仪馆老板之间。任何人要找殡仪馆，他都先接通接线员，说“请接殡仪馆”；问题就在这里：这个接线员很可能被 A 殡仪馆的老板“做了工作”，所有要接通殡仪馆的人都被这个接线员接到 A 殡仪馆，B 殡仪馆生意越来越差，濒临破产。B 殡仪馆老板细心观察，发现了接线员存在的问题！哎，如果不用人工接线，而有一种能自动接线的机器该有多好啊！突然，他“灵感一闪”，立刻着手进行研究，终于发明了一种机器——不靠人工接线而通过这台机器作“自动交换”。这台机器虽然看起来很笨重，但获得了巨大成功，甚至这种成功连他本人都没有想到有如此大影响！这台机器就是最早的交换机，是今天 PSTN 中交换机的祖先！后来的公共通信网，无论语音通信还是数据通信，如果不是特殊的应用场合，一般都不再用人做信息转接。很多企业的前台依然保留着专门的接线员，那是为了让顾客感觉人性化的服务，而不是因为技术的需要。



这是个有据可查的真实故事，发明自动交换机的是殡仪馆老板史瑞乔。他的故事给我们一些启示，老杨愿意与读者共飨。

- 世上没有救世主，也没有神仙皇帝，要改变我们的命运，只有靠我们自己，从这个意义上来说，业余的史瑞乔和专业的贝尔同样伟大！
- 专业的人做专业的事，这没错；但是这并不排除不专业的人进行专业的创造。
- 机会总是给那些善于思考的人投怀送抱。如果你愿意多思考，下一个伟大发明也许就在前面等你！

比如自动交换机从步进制、纵横制发展到今天的程控交换机和软交换，电话交换网在 100 多年时间内不断发生着变化。老杨将带着读者从几个角度来了解电话交换网，了解语音通信网的发展历程，让我们看看人类是如何不断改造世界并提高改造世界的水平的。



公众电话交换网（PSTN）

1. PSTN 的现状

PSTN距离我们很近，我们桌面上的电话机，一般情况下都连接到两类设备上—— 一类是通过电话线直接连接电信机房的交换机，另外一类是先连接到一台用户交换机，然后连接到电信机房的交换机上。前者一般是家庭和小企业用户，或者大企业里面的VIP[1]用户；后者一般是企业用户。

电信机房的交换机则一层一层互连起来，构成了全国以至全球范围内庞大的电话交换机网。我们把这个庞大的电话交换网叫做 Public System of Telephone Network，中文学名“公众电话交换网”，这就是大名鼎鼎的“PSTN”。各位一定要记住这个术语，无论在本书后续的章节，还是通信人的日常工作中，“PSTN”这个词都有很高的“出镜率”。迄今为止，PSTN 仍然是应用最广泛的通信网络，人类对 PSTN 的投资规模之大，是其他任何网络所无法比拟的！

专家们把电话交换网络的各种交换机分为几种类型，C1、C2、C3、C4、C5，每种交换机放在交换网中不同的位置，并赋予不同的使命，C 是 Class，“类”的意思。每个国家的人口数量、经济发展数量不同，C1 到 C5 的分布情况也不尽相同。在中国，最早划分是按照 C1 为大区中心，C2 为省中心，C3 为地区中心，C4 为县中心，C5 为端局设计的，但是在实际的交换网络建设中，C2、C3 逐渐退化并最终消失，目前只有 C1、C4 和 C5 交换机真实存在，这是通信网典型的骨干、汇聚和接入等三个层次，如图 9-1 所示。

C1 交换机作为国内 PSTN 核心节点，同时承担着与其他国家、地区交换机的连接工作；C4 交换机叫作汇接局交换机，作为中继互连、汇聚和分发话务量的交换机；而 C5 交换机则连接用户终端电话、企业 PBX 或者接入网，并将所有呼叫出局送到 C4 交换机上去。每种类型的交换机具体功能都是有差异的，如 C5 交换机就要对主叫号码进行认证，而 C4 交换机则不负责这项工作。

[1] VIP，Very Important Person，指企业的老板或者高层管理人员。



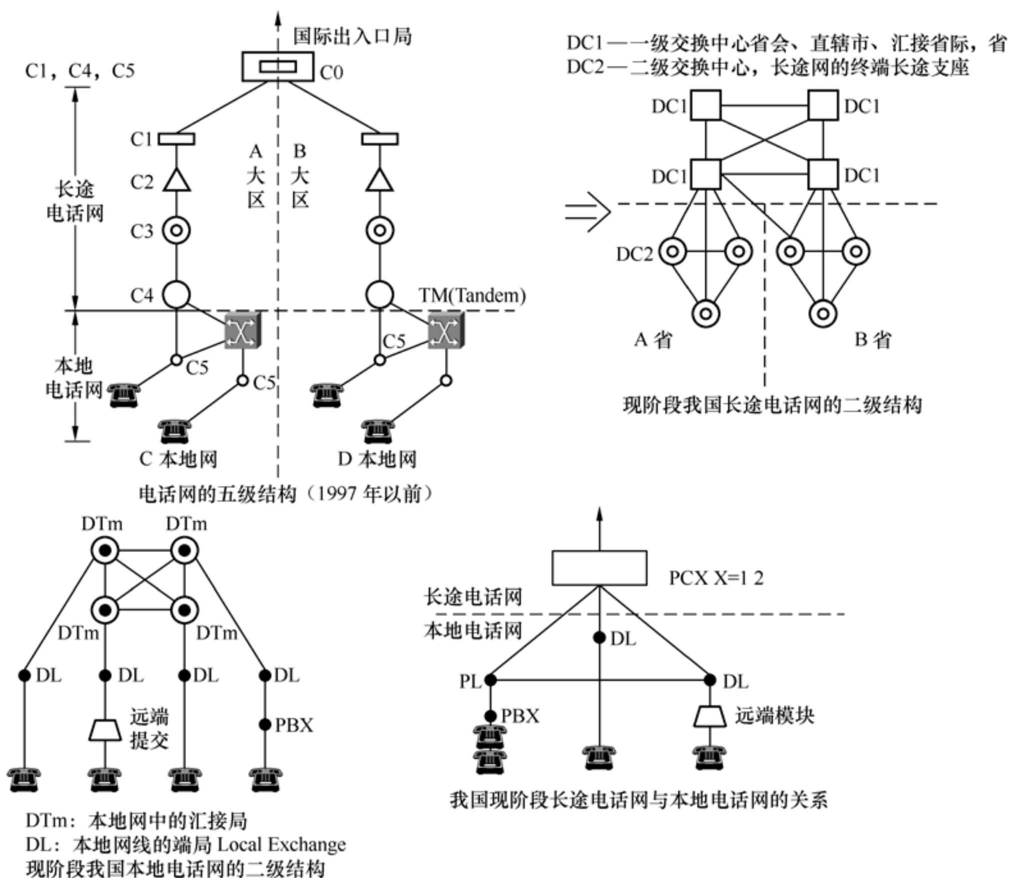


图 9-1　C1、C4 和 C5 局

2. 电话号码的分配

在第 5 章，老杨已经给各位初步介绍了电话号码的分配原则。我们知道，电话号码分配有严格的国际标准和国家标准，这种分配原则需要“告知”每台交换机。与其他任何地址问题一样，如果号码分配不统一，信息交互就无法进行。因此，每一部电话必须有一个标志，这个标志就是我们生活工作中每天都在使用的“电话号码”。

电话号码的编号是个大学问！合理的编号会让整个 PSTN 都显得很轻松，用户使用起来也更加方便。通信人不栽好树，用户就不能愉快地乘凉。如何栽好树？下面的要求缺一不可。

- **号码长度必须规范**。全球各地的号码长度可以不一样，但是细化到具体号码，前缀和号码长度必须紧密配合，比如已经有了 110 这个号码，就不允许有 11012345 了。这里需要解释一下，移动电话在拨打电话的时候，拨完号码需要按“发送”键，而固定电话不需要如此，从统一的角度考虑，号码长度和前缀的结合，能够保证交换机在收到号码后不会产生歧义。



- **号码前缀代表某个特定地区或者特定应用。**这样做的优点非常多。一是便于用户拨号，因为拨打本地区的号码，不用拨本地区的前缀（区号）；二是有利于电话号码的扩展，如果电信公司新增加一个电话用户，无需在全球所有交换机上增加到这个用户号码的路由。比如某台交换机设置本地号码为 81312001 ～ 81313000，它只需设置 81312×××的路由即可，也许其中只有 200 个号码被分配给了客户，未来若有新的客户申请，从未使用的号码池中选择一个空置号码，安装完成后，不需要通知全国的所有运营商在各自管辖的交换机上增加新增号码的路由，因为所有交换机已经对 81312×××的号码进行了相关的路由设置，只要一切配置 OK，该电话号码就可以正常使用了。

根据上述需求，国际上制定了全球规范，各个国家在国际规范基础上结合自身特点制定了本国规范。下面就拿我国的规范举例，看看本地网的编号规则。

（1）本地网的编号

本地网就是一个城市的 PSTN。本地网中的每个号码位数都是一样的，用户的电话号码随着局数的增加，编号可采用 6、7 或者 8 位。这时号码是由两部分组成：局号和话机号。其中局号由 2～4 位数字组成，话机号仍是 4 位，如 64968888，则由“6496 局”和“8888 号”两部分组成。虽然分成两部分，但是无论是书写还是拨号，这些数字并不分开。

本地网用户进行长途、特种业务等通信时，由首位号区分。首位号码的含义如下：

- 1 为特种业务号码或移动电话号码的首位号；
- 2～8 为市话号码的首位号；
- 9 为长市话号码或市郊号码的首位号；
- 0 为长途全自动的字冠前缀。

（2）特种业务号码和特服号码

当用户遇到火警，需要迅速报告消防队或公安局；用户修理电话、申报障碍、查询电话号码等，都需要迅速地用电话联系。这类号码不同于普通用户的号码，是作为电信业务和社会服务而设的，要求接续速度快、准确无误，因此特种业务的电话号码位数少，有利于用户记忆和拨打。每个国家对此类号码都有规定，中国的特种业务号码为我们熟悉的“1XY”三位编号，11Y 主要用于故障申告、长途人工挂号、报告火警匪警等，如 112 市话报障；12Y 主要用于一些社会服务项目，如 121 天气预报等。

10 开头的 5 位号码，是电信运营商保留的特别服务号码，比如中国电信的客服号码 10000，中国联通的 10010 和中国移动的 10086；以 10 开头的 3 位号码，都是和国际电话业务有关的特服号码；部分以 13、15 和 18 开头的 11 位号码，属于移动运营商使用的手机号码段。

（3）长途网的编号

长途前缀（“0”）+区号+本地网号码组成了长途网的编号。我国长途自动电话的前缀为 0，市内号码已经在市话网确定了，剩下的就只有长途区号，老杨需要做一些解释。我国“地大物博、幅员辽阔”，政治、经济、电话业务条件差距很大，因此长途区号长度也有一定差别，



分别为 1 位、2 位、3 位和 4 位，编号情况如下。

- 北京：全国中心，区号编为 10。
- 中央直辖市及省间中心：区号为 2 位，编号为 2X，X 为 0～9，如武汉为 27，西安为 29，天津为 11，广州为 20，上海为 21，成都为 28，沈阳为 25 等，共有 10 个编号，目前很多城市在争取获得 26 这个编号，有消息说，竞争非常激烈。
- 省中心、地区中心：区号为 3 位编号，（3～9）XY，其中 X 为奇数，Y 为 0～9，所以共有 7 × 5 × 10 = 350 个编号。
- 各个地市：区号为 4～5 位编号，共 3 500 个。

综上所述，我国总的长途区号有 1 + 10 + 350 + 3 500 = 3 861 个。

（4）国际电话编号

要拨打国际长途，就必须先拨呼叫国际电话的标志号，这个号由国内长话局接收识别后，呼叫接入国际电话网。每个国家的标志号不完全相同。如我国规定为“00”，英国为“010”，比利时规定为“91”等，这些标志号并不是国际长途区号的组成部分。都是拨打到美国的电话，从中国拨打，以 001 开始，而从英国拨打，则以 0101 开始。

接下来讲述的才是国际长途的区号——国家号码。按 ITU 规定，国家号码由 1～3 位数字组成，第 1 位数为“世界编号区”，即世界分成若干个编号区，每个编号区配 1 位号码。世界编号区的划分及其编码分配如下：

1	北美[2]
2	非洲
3 和 4	欧洲[3]
5	南美和古巴
6	南太平洋
7	前苏联
8	北太平洋（东亚）
9	远东和中东
0	备用

电话数量多的国家号码为 2 位数，电话数量少的是 3 位数，以保证总的电话号码长度不超过 ITU 的规定。如在第 3 编号区，法国为 33，荷兰为 31，葡萄牙为 351，阿尔巴尼亚为 335；在第 8 编号区，中国大陆为 86，日本为 81，朝鲜为 850。

各位读者无须背诵各国编号，虽然它们比圆周率稍微简单一些。全世界绝大部分的国家，

---

[2] 美国和加拿大比较特殊，采用统一编号的长途国家网，国家号码为 1 位，就是标号区码“1”。

[3] 由于欧洲国家众多，电话密度高，分配两个编号区。[2] 美国和加拿大比较特殊，采用统一编号的长途国家网，国家号码为 1 位，就是标号区码“1”。

[2] 美国和加拿大比较特殊，采用统一编号的长途国家网，国家号码为 1 位，就是标号区码“1”。

[3] 由于欧洲国家众多，电话密度高，分配两个编号区。



你一生都不会去一次，这些国家使用着和你一样的电话机、一样的拨号规则、采用一样的信令拨打电话，每次当老杨这么想的时候，就会感觉这个地球因通信网而变得很小！

3. PSTN 的拓扑结构

PSTN 是由电话机、电话交换机和它们之间的连线组成的。PSTN 中的交换机组成特定的“形状”，有助于有效利用资源，提高电话呼叫的稳定性。一个电信运营商，需要将若干台相同或不同品牌、型号的程控交换机互相连接在一起。这种连接一般都是数字的。

程控交换机都有一个“外交部”—— 中继单元，中继单元上有若干中继端口，它们可以被理解为“外交官”。任意两台程控交换机的“外交官”，如果速率一致，外交词令（信令）一致，就可以通过数字中继线连接起来。这里的“外交词令”可以是七号信令，也可以是 PRI 信令。对于程控交换机而言，某个端口同时支持两种信令是不可能的，这和人与人之间沟通不同，A 对 B 说英语，B 对 A 说汉语是可以的，甚至汉语英语混杂着说；但是在程控交换机中，某个端口不可能同时具备收发两种同质信令的能力，如不可能同时支持 PRI 和七号信令。

电话交换网最适合的拓扑结构是树状结构，这符合自上而下的行政管理模型。但是在较为核心的层面，一般采用全网状或不完全网状结构，这是出于对路由备份的考虑。

城市的每台直接连接用户的交换局都部署一定容量的程控交换机，它们一边通过铜线连接用户的电话机，一边通过 E1/T1 或者 STM-1 连接汇接层交换机。这就是我们之前提到的 C5 局连接到 C4 局。

图 9-2 所示的是省内常见的双子星结构的 PSTN 拓扑。

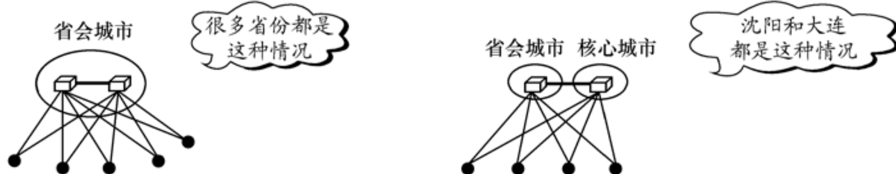


图 9-2　双子星结构在一个城市和两个城市的情形

国家级语音骨干网一般按照国家行政区划分为几个大区，每个大区设置一个核心节点，所有该大区的省份，其核心地市的交换机直连大区核心节点，如图 9-3 所示的是某运营商的全国语音骨干网的拓扑结构。

交换机一般都可以设置“迂回路由”，如图 9-4 所示。在交换机的路由表中，要到达任意目的地，都设置一个主用出口和一个备用出口，当主用出口所连接的线路发生故障，可以通过备用出口接续呼叫，最大化地减少因某条线路或者某个端口的故障造成全网业务的瘫痪。

还记得 SDH 的路由保护功能吗？其实在上文的描述中，如果传输光缆被挖断，首先实施路由保护的是 SDH 环，这在第 8 章已经描述过。而 PSTN 也有迂回路由，或者说路由备份的功能。一般情况下，PSTN 交换机间的中继连接都采用 SDH，两个层面的路由保护，使 PSTN 更具有健壮性！



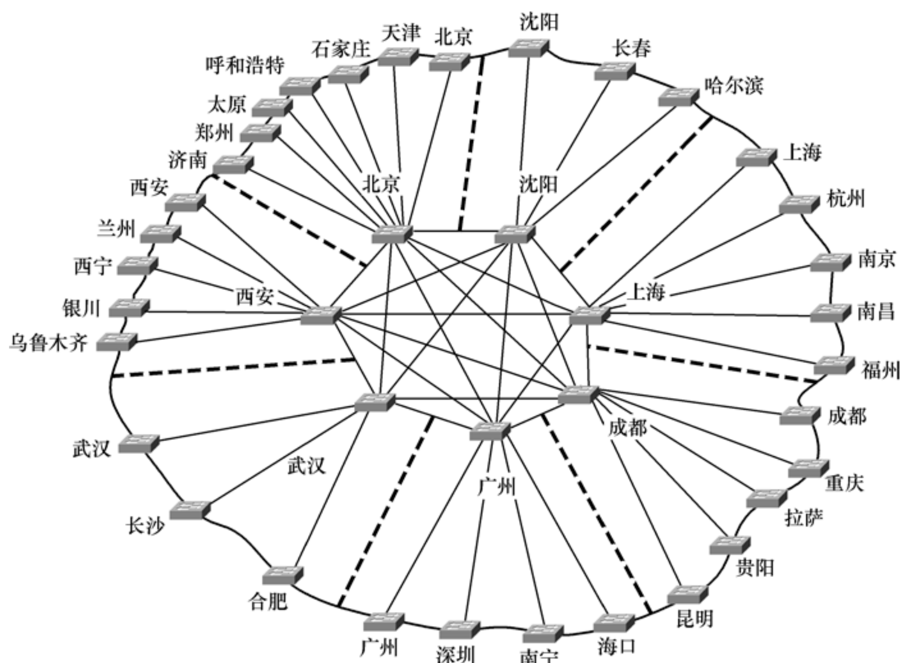


图 9-3　某运营商全国 PSTN 骨干节点分布图



图 9-4　PSTN 的迂回路由

4. 电话接入网（AN）

电话接入网被俗称为“接入网”（AN，Access Network），它是特指语音网络的，以 IP 接入为主导的数据网络接入网不在此范畴。AN 是一种将 PSTN 用更加廉价的方式接入企业和家庭的网络形式。我们知道，PSTN 的 C5 局交换机一般是通过大量的铜缆进入千家万户，而采用 AN，可以将 C5 局交换机的端口延伸到距离客户更近的机房中去。

接入网和 PSTN 之间最多用到的是 V5 接口。V5 接口是一种标准化、完全开放的国际统一接口，是接入网和本地 C5 局交换机之间的数字接口。V5 接入分为 V5.1 和 V5.2 两种，通过这两种逻辑接口支持不同的接入类型或提供不同承载通道的处理能力。其中 V5.1 是单个 E1，而 V5.2 则最多可提供 16 个 E1 为一组的接口链路，并具有“集线功能”，其他方面，二者基本一致。一个典型的接入网在局端放置光线路终端（OLT，Optical Line Terminal），与本地交换机之



间采用 V5.2 协议连接；在距离客户较近的机房（比如写字楼的机房内）放置光网络单元（ONU，Optical Network Unit），一个 OLT 对应多个 ONU，而 OLT 和 ONU 之间通过 SDH 链路连接。

我们需要了解为什么会出现 AN。传统的电话线都是通过 C5 局交换机直接连接客户的，从交换机到客户桌面，全部采用铜线。大家知道，铜的成本很高，在资源愈加匮乏的这个地球上，如果有一种技术体制能节省 50%以上的铜缆资源，将是多么可贵的创新！而 AN 采用 SDH 的传输线路，只是在局端和用户端分别采用 OLT 和 ONU，铜缆自 ONU 出发到达客户那里，相当于很大部分的铜缆传输被 SDH 的光传输所代替。另外，AN 的两级集线比可以节省交换机上的端口资源，也提高了交换机的端口密度。若采用 AN，一台交换机的一个 E1 端口，一般可供 240 个用户（1∶8 的集线比）使用，而如果不采用 AN 技术，交换机的每个模拟端口都只能供一个客户使用。

5. PSTN 的话务强度测定

在语音通信网络中，“爱尔兰（Erl）”是衡量话务量大小的指标。它根据语音信道的占空比来计算。如果某个话音信道等经常处于占用的状态，我们说“这个通道的爱尔兰很高”。如果 1 小时内信道全被占用，那么这个期间的话务量就是 1Erl。业界经验指出，当每信道话务量大于 0.7Erl/l（Erl/l 指每信道爱尔兰数）时，有些通话可能就会受到影响而无法接通，接通率就会下降。

呼叫频率可以用两个参数来表示：忙时试呼次数（BHCA，Busy Hour Call Attempts）或者每秒建立呼叫数量（CAPS，Call Attempts Per Second）。BHCA 测定的是在一小时之内，系统能建立通话连接的绝对数量值。测试结果是一个极端能力的反映，它体现了交换机的软件和硬件的综合性能，与网络拓扑无关。BHCA 值最后体现为 CAPS，接下来就是数学问题了：CAPS × 3 600 = BHCA。一般来说，影响 BHCA 值的因素有交换机的容量、控制结构、处理机性能和软件设计水平。

合理地规划 PSTN，能够让中继上的 Erl 值达到比较理想的状态，在保证用户业务的同时将话路分担到多台交换机上，这样有助于延长交换机的使用寿命，并有利于在突发情况下（如春节电话拜节高峰）用户呼叫成功率。

电信运营商都以 Erl 值为参考进行 PSTN 的扩容。



交换机原理

别怕，别看到“原理”二字就以为本节开始讲述高深的通信理论。事实上，如果去掉那些面目可憎的公式和不知所云的图表，单纯从交换机的设计角度讲，它其实是一台非常有趣的计算机！老杨将让各位读者愉快地理解交换机是如何工作的。

我们知道，交换机+管线+电话机，是 PSTN 基本的组织形式。交换机是做什么用的？用来识别号码并根据号码进行“交换”的。交换机就像一个多岔路口，南来北往、熙熙攘攘，交换机告诉任何一通来自主叫方的电话呼叫，应该朝哪个方向走才能到达被叫方。

交换机这个活可不好干，它必须具备以下基本能力。

- 它必须能够通过路由表识别出应该如何找到被叫方。
- 它必须有指挥搭通电路的能力，并在通话结束后拆除电路。



- 它可以识别主叫方的请求并通过内部机制搭通电路。也就是说，在它内部一定要能形成一条直通的物理电路，若干台交换机的所谓“直通电路”连接起来，加上交换机之间的线缆和交换机与电话之间的线缆，就构成了两台电话机之间的完整回路。
- 它如果连接了电话机，必须能够向“共电式电话机[4]”供电。
- 能够存储所有电话通话的重要参数，比如起始时间、终止时间、时长、主叫号码、被叫号码等，以作为计费的依据。

第 1 个能力叫做“寻址”。交换机必须维护一个“寻路指南”，也就是路由表，任何要接通电话的请求都可以通过路由表找到到达目的地的路径。电话交换机的路由表是根据“号码前缀”定义的。

第 2 个能力叫做“建链/拆链”。通话双方的需求是通过信令来传递和表达的。交换机应具备读懂信令、处理信令和转发信令的能力。有了这些能力，交换机就可以在呼叫到来的时候搭建电路，在呼叫结束的时候拆除电路。

第 3 个能力叫“交换”，指交换机自身必须具备搭建电路的资源，也就是说，交换机有电路搭建所必需的原材料，这种原材料不是钢筋不是水泥，而叫做“交换矩阵”。具备第 2 个能力交换机就成了“巧妇”，而具备第 3 个能力后，它就“可为有米之炊”了。

第 4 个能力叫“馈电”，是指交换机必须具备馈电能力。我们使用的电话机，绝大部分是不用专门的外接电源的。如果你家里的电话机带有电源，一般是接子母机用的（家里的无绳电话）。老杨建议你做个试验，将其电源拔掉，用另外一部电话拨打这个电话，你会发现，电话依然振铃，接起来依然可以通话。一般情况下，交换机通过用户线向电话机提供−48V的电压，摘机的时候，才会有电流通过，这时候的电流为 18～50mA。这是个很有趣的现象，老杨从来都对当代电话系统的发明者表示由衷地钦佩：千万别小看这根电话线啊，它不但解决电话信号的传输问题，还解决了电话机的供电问题！为什么电话能够以那么快的速度在全球普及，与其精巧的设计是密不可分的。而以太网终端在这个问题上，至今没有统一的解决方案，虽然有PoE[5]这样的方案，但其通用性远不如电话系统。

第 5 个能力叫“记录”，就是 CDR 存储（CDR，Call Detail Records），它描述了呼叫接续的全过程。CDR 中所记录的参数，都是从原始的信令消息中获取的，是整个程控交换网中最原始、最直接的有关呼叫全过程的信息存储记录。对电信营运者来说，CDR 太重要了！所有基于 PSTN 的计费都是基于 CDR 计算出来的。

一通电话就是一支部队，每台程控交换机是一位经验丰富的指挥官，这次的任务是偷袭敌军。指挥官随时盯着作战地图（路由表），并通过侦查等手段识别我军和敌军所在位置以及

---

[4] 就是我们一般使用的电话机，没有外接电源。[4] 就是我们一般使用的电话机，没有外接电源。
[4] 就是我们一般使用的电话机，没有外接电源。

[5] PoE，Power over Ethernet，以太网供电，IEEE 802.3af/at，at 为正在研制中的增强型新标准。这一种通过以太网线对接入交换机的供电技术，目前已有部分厂家支持，但当前使用的绝大部分交换机都不支持该功能。



通向敌军的路径，经过分析和部署（信令处理），决定在哪条路径上修路搭桥（链路的接续），经过努力，最终一举歼灭敌军，并在获胜后立刻指挥部队撤退并拆除路和桥（拆线）。必要时，还要自给自足地提供战备物资（馈电）。

下面，老杨将向读者分别描述“作战图”、“作战部署”和“路桥搭建和拆除”等问题。



作战图——程控交换机的路由

“作战图”就是程控交换机的路由表，表中所有内容都是根据实际网络情况人为设定的，不是交换机通过某种机制自动获得的，这和后面第 11 章所描述的 IP 网路由表获取方式不同。由于程控交换网的号码分配非常规则，因此路由也非常规则：根据不同的被叫号码，选择不同的出局路径。

老杨已经给读者讲述过全球电话号码的分配方法。中国大陆的电话交换机，要拨打国际长途，必须先拨 00 键。任何一个中国大陆的电话用户在电话机上顺序按下 001 键后，与该电话直连的 C5 局交换机就获取了该信号，并根据该前缀知道这个号码不属于本国，于是，这台交换机会通过中继线路呼叫更高层面的交换机（C4 局），这么一级一级地呼叫上去，直到国家的国际关口局，继续呼叫到美国的交换机，又根据各级前缀一层层呼叫，直到找到被叫用户，与此同时，链路搭建完毕，接下来的工作就是通话和挂断（如图 9-5 所示）。电话号码其实就是用数字从前到后排列，一层层剥开就是各级“分机号”。整个规则简单、有序、统一。

对于 C5 局交换机，与其直连的终端电话号码是固定的，若交换机获取一通呼叫，该呼叫的被叫号码为这台交换机的直连终端号码，系统会做出准确判断，并立刻在进入端口和被叫所在的端口之间搭建链路；若交换机获取了一个被叫号码不属于这台交换机直连终端的呼叫，该呼叫一定是从某个直连端口的电话机发出的，那么交换机会将该呼叫送到与之直连的某台 C4 交换机上，具体送到哪台交换机上，取决于被叫号码的前缀和这台 C5 交换机的路由表中与该前缀有关的路由表。

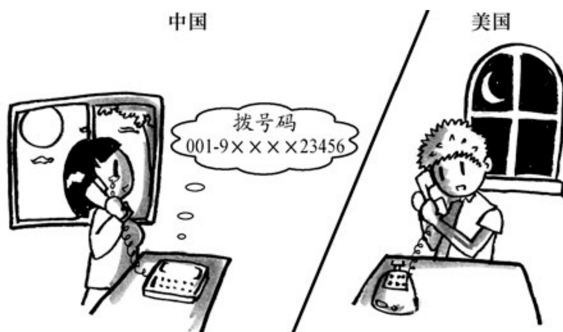


图 9-5　一个中国打到美国的电话的例子

对于 C1 或者 C4 局交换机，一般来说没有直连的终端。当交换机获得一个呼叫，系统针对该呼叫的被叫号码进行查询，找到对应的路径，并通过该路径把呼叫转发出局。



作战部署——信令

在“程控交换机的路由”一节中，我们是基于一种假设：交换机已经“获取”了呼叫。那么这种呼叫在交换机上是如何获取的呢？这种呼叫的格式是什么？呼叫的信息通过什么传送？

PSTN 中，交换机之间、交换机和电话终端之间的交流都通过“信令”来传递和表达。这并不难理解，任何两个事物之间发生联系，一定要通过某种特定的沟通渠道，比如语言，而电话交换机之间的“语言”，必须简练和精确，言简意赅地表达“我希望你做什么”或者“我不希望你做什么”或者“我希望你不做什么”或者“我不希望你不做什么”—— 听着有点绕口，但“信令”就是这种风格的语言。战争中，上级向下级发的作战部署，其实也是用这样简单、明了的语言，要不得半点遮遮掩掩欲言又止。

我们在日常生活中，通过眼睛、鼻子、耳朵等多种途径来获取信息，两个人交谈，先看到对方；如果是盲人，双方都能发出一定的声响；那如果都不发出声响呢？两台交换机之间，或者交换机与电话终端之间，就是这样，它们不会发声，不会跺脚，不会做手势或者“暗送秋波”，它们只会发送某种特质的电流，发送约定的电压。

图 9-6 是生活当中两个人的对话示例。



图 9-6 生活中两人对话图例

看看这段对话。两个人先通过某种约定俗成的“喂”开始，达成“同步”，形成特定的语气、语速、交流语言（用英文还是中文），当这些都解决了以后，开始聊天。

人类是智能生物，而机器不是生物，其“智能”是人赋予的特定处理能力而已。问题来了：要赋予机器智能，是很麻烦的事情，人类一下子能判断的东西，若让机器判断，人类就必须能够还原自己分析和思考的全部过程，这真是个科学难题！也许是“不知庐山真面目，只缘身在此山中”吧！关于这一方面，有很多活生生的例子。比如，人一眼就能看出一张照



片中的人是男是女，而让你说出自己的判断依据，那可费劲了！程控交换机的智能是人赋予的，在不了解其原理的人看来，反倒很难理解。其实你完全可以把程控交换机想象为具有这样特点的事物 —— 机械、笨拙、听话、守规矩、一丝不苟，你没告诉它的东西，别指望它能“看到”、“听到”、“想到”或者“猜到”，更别指望它“分析到”或者自己去“创造”什么（也许未来人工智能会自己创造，但是至少今天我们还不去考虑这个问题）。于是，信令的作用就是通过特定格式的“语言”，在 PSTN 的各个交换机之间、交换机与电话机之间互相转告消息，并共同处理一通电话的全过程。

一通语音通话开始时，电话和交换机之间、交换机与交换机之间，必须传送特定的信令，让电路搭建起来；在通话结束后，通过某种触发（实际情况是，任何一方挂机），它们还要再通过特定的信令交互，才能结束通话、拆除线路并等待下一个通话的开始。

信令按作用区域划分，可分为用户线信令与局间信令，前者在用户线上传送，用于电话机和交换机之间的信令传递；后者在交换机之间的中继线上传送，也就是两台交换机之间的信令传递。

假设你要拨打电话，电话机和与之直接相连的交换机之间会发生如图 9-7 所示的过程。

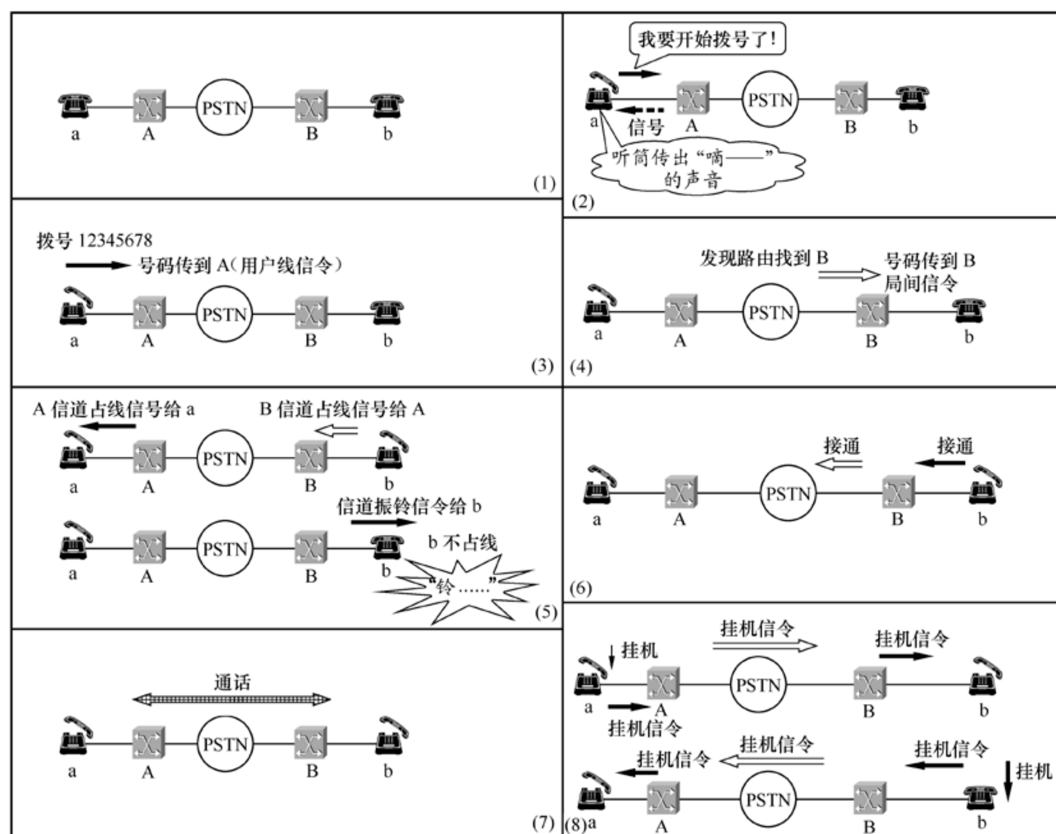


图 9-7　电话呼叫流程



（1）a 想要拨打电话给 b。

（2）你先把你的电话机 a 听筒摘起来，这时候，电话机会通过电话线告诉直接相连的交换机 A:“我要开始拨号了”，于是交换机 A 发送一个信号给电话机 a，电话机 a 则从听筒里传出一种连续的“嘀——”声，于是你就可以拨号了。（这属于用户线信令。）

（3）在你按键或者拨动拨盘的时候，号码会通过电话线传送到交换机 A 上。这也属于用户线信令。）

（4）交换 机 A 根据被叫号码，将希望通话的信息传送给被叫方电话机 b 直连的那台交换机 B（中间很可能经过多台交换机）。（这就属于局间信令了。）交换机 B 发送特定信号给被叫方电话机 b，告诉它电话机 a 希望与该电话机通话。（大家都猜出来啦，还是属于用户线信令！）

（5）被叫电话机 b 若占线，交换机 B 传送占线信号给交换机 A（局间信令）；交换机 A 传送占线信令给主叫方电话机 a（用户线信令）；若被叫电话机 b 不占线，交换机 B 传送振铃信号给电话机 b，电话机 b 振铃。（同上，属于用户线信令。）

（6）电话机 b 振铃后，若被叫方接起电话，则被叫方电话机 b 传送接通信号给交换机 B 和 A 以及中间所有交换机，电路开始搭建，完成后通话开始。（这属于用户线信令和局间信令。）

（7）通话。

（8）若电话机 a 挂机，它传送挂机信令给交换机 A，交换机 A 将挂机信号传送到交换机 B，它传送挂机音给电话机 b；若电话机 b 挂机，它传送挂机信令给交换机 B，交换机 B 将挂机信号传送到交换机 A，交换机 A 传送挂机音给 a。（这属于用户线信令和局间信令。）

“呼叫过程”和“挂断过程”，都是信令交互的过程。也就是说，上面的 7 个步骤，就是一通电话的信令逻辑全过程。信令是通信网络中最复杂、最抽象、最让初学者头痛的技术之一，为了让通信网最大化地发挥自己的潜能，合理的信令呼叫方案是非常有价值的。无论是语音网还是数据网，都可能存在信令的概念。

下面一节，老杨就带领各位读者详细分析用户线信令和局间信令，让我们看看它们是如何工作的。

1. 用户线信令

用户线信令是在用户与交换机之间的用户线上传送的信令，作用于模拟电话用户线，如上面例子中的这种信令包括如下两种。

- **监视信令**：顾名思义，监视用户线的状态，只要交换机开启，就始终盯着是否有用户摘机、主叫用户是否挂机、被叫用户是否摘机、被叫用户是否挂机这样的状态情况，并根据情况触发下一步的动作，比如发送拨号音、忙音、回铃音，或向被叫用户馈送振铃信号等。
- **地址信令**（被叫号码）：在你拿起电话听筒并开始拨号，你拨打的号码将通过电话线传送到交换机上，用于装载被叫号码的信令就是“地址信令”。常用的电话机有两种制式：一



种是通过话机拨号来控制用户线电路断续而产生“直流脉冲信号”，这种话机叫做脉冲式话机；另外一种电话机叫做双音频式话机，它不再用脉冲而用同时发送的“双音”表示一个数字，它发送的信号被称为“双音多频信号”。目前前者已经越来越少见了。

2. 局间信令

局间信令就是交换机之间传送的信令，交换机所在的空间单位被人习惯称为“局”，这个局是从“邮电局”、“电信局”发展而来。（当然，现在我们已经不再称运营商为“电信局”而叫“电信公司”了。）局间信令，是在交换机之间调度的“通讯兵”。在交换机或交换局之间中继线上传送的信号，用以控制呼叫的“接续”。接续的结果，就是从主叫到被叫，所经过的所有交换机都利用交换矩阵建立物理链路。由于目前使用的交换机制式和中继传输信道类型很多，组网涉及面广，因而局间信令比较复杂。为保证通信网中不同品牌的交换机实现互通，通俗点说，就是为了相互之间在“接续”的时候能理解上游传过来的信令语言，必须建立统一的局间信令标准。

这里，老杨介绍一下在局间信令中经常被提及的分类方法，那就是根据信令通道与语音通路的关系，可将局间信令分为随路信令（CAS，Channel Associated Signalling）与共路信令（CCS，Common Channel Signalling）。如果信令和话音通道处于相同的通道，就是 CAS，如果处于不同的通道，就是 CCS。这里的“通道”可能是物理通道，也可能是逻辑通道。这就好像通信兵存在两种形式，一种形式是隶属于野战军内部，比如可以以“班”为单位设置，每个班 1 名通信兵，这就是 CAS；另外一种形式是建立专门的通信部队，独立于野战军，辅助野战军搜集敌情、发送情报，这就是 CCS。如同用户线信令，也可将局间信令按功能分为监视信令、地址信令与管理信令。

3. 随路信令

随路信令与电话信号本身一衣带水。因为它“隐藏”于与该话路有固定联系的信令通路中，信令自身的数据量很小，只占用话路本身几十分之一。一号信令就是随路信令，它隐藏于每个 E1 的第 16 时隙中，我们回顾一下图 4-12 中的那列指挥车，在这里大家应该知道它们是做什么用的了吧。

随路信令又分为线路信令和记发器信令。前者属于监视信令，包括示闲（我现在有空啦，可以随时呼我！）、占用（我忙着呢，别理我！）、应答（嗨，是我呀！）与拆线（再见啦，经常和我联系啊！）等表示线路状态信息，用以表示线路目前所处的状态，控制“接续”的进行；后者是地址信令，总是在通话前传送（这是当然，否则和谁通话啊？）。目前全球广泛使用传送速度快、有检错能力的带内[6]多频（MF）信号作为交换机之间的记发器信令。来电显示就是采用记发

---

7 带内，是通信中常用的词汇，一般指信令、网管信息等非业务数据采用和业务数据相同的物理或者逻辑信道传送；与之对应的是“带外”，指这些非业务数据采用独立的物理或者逻辑通道传送，而不采用业务数据信道。[6] 带内，是通信中常用的词汇，一般指信令、网管信息等非业务数据采用和业务数据相同的物理或者逻辑信

道传送；与之对应的是“带外”，指这些非业务数据采用独立的物理或者逻辑通道传送，而不采用业务数据

器信令传送和获取的，它传送的是主叫号码，用于实现一个功能 —— 来电显示。

4. 共路信令

共路信令则是一个组织结构严密的、能够管理多个话路的信令体系，先进的共路信令是当前程控交换技术的一个重要发展方向。共路信令以统一格式的“消息信令单元”形式传送，不再像 CAS 那样分别传送线路信令和记发器信令。

七号信令（有时简称 SS7）是目前使用最普遍的共路信令。一个事物的成功，一定有其成功的道理。七号信令也不例外：它将信令和语音通路分开（各走各的），可采用专门的数据链路传送信令，具有传送速度快、呼叫建立时间短、信号容量大、更改与扩容灵活及设备利用率高等一大堆优点。要想把七号信令说明白，恐怕一本书的容量都不够。老杨给各位摆一摆它的主要特点吧。

七号信令系统是电路交换的“神经系统”，传送和交换七号信令的设备构成了一张独立的“信令网”，这张信令网是叠加在电路交换网之上的一个专用的计算机通信网，是支撑网的重要组成部分。

目前市话网普遍采用光纤数字中继和七号信令系统。在我国使用的七号信令系统称为“中国七号信令系统”。

七号信令网在语音网中的作用可大了！在 PSTN 的交换机之间，它完成本地、长途和国际的电话接续；在移动网内的交换局间，它提供本地、长途和国际电话呼叫业务，以及相关的移动业务，如短信等；为固定网和移动网提供智能网业务和其他增值业务，如 400、800、预付费等；最为关键的是，它提供对运行管理和维护信息的传递和采集。

功能的繁多造就了系统结构的复杂。图 9-8 是七号信令系统的结构示意图：

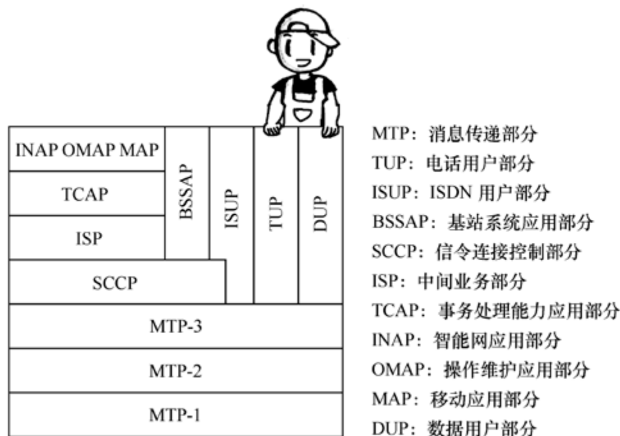


图 9-8　七号信令系统的结构示意图

信道。

[6] 带内，是通信中常用的词汇，一般指信令、网管信息等非业务数据采用和业务数据相同的物理或者逻辑信道传送；与之对应的是“带外”，指这些非业务数据采用独立的物理或者逻辑通道传送，而不采用业务数据信道。



七号信令网由 3 部分组成，分别是 SP、STP 和 SL。

- 信令点（SP，Signaling Point）：处理控制消息的节点。产生消息的信令点就是该消息的起源点，消息到达的信令点就是该消息的目的地节点。任何两个信令点，如果它们的对应用户部分之间有直接通信的可能性，就称这两个信令点之间存在“信令关系”。也就是说，如果两个用户部分会互通电话，那么这两个用户部分对应的信令点会发生信令关系。
- 信令转接点（STP，Signal Transfer Point）：具有信令转发功能，能将信令消息从一条信令链路转到另一条信令链路的信令节点，它是信令的“路由器”。在三级结构的信令网中又分为高级信令转接点（HSTP）和低级信令转接点（LSTP）。
- 信令链路（SL，Signaling Link）：在两个信令点之间传送信令消息的链路。直接连接两个信令点的一束信令链路构成一个信令链组。

七号信令网和 PSTN 之间的对应关系比较简单，一般来说，国际关口局和 C1 连至本信令区的高级信令节点，而 C4 和 C5 局连接低级信令转接点。七号信令是智能网的物质基础。

图 9-9 示出了七号信令网和 PSTN 的对应关系。

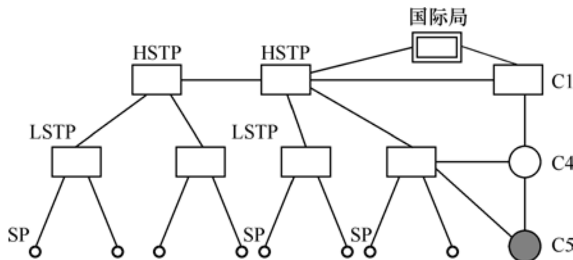


图 9-9　七号信令网与 PSTN 的对应关系



无所不能的智能网

在 PSTN 上可以实现大量所谓“增值业务”。这里老杨提到的“增值业务”，是指通话以外的所有业务，所有国家对“增值业务”都有明确规定，在第 16 章专门介绍，而本节，老杨将从技术角度描述除了基本通话以外宽泛的“增值业务”是怎样炼成的。

有些增值业务，是直接通过程控交换机实现的，比如缩位拨号（把特定用户的号码省略几位直接拨出）、三方通话（两个人通话不算牛，三个人一起通话才厉害）、呼叫转移（我去哪儿你打哪儿）、遇忙回叫（一个电话都不漏掉）、闹钟（提醒我、叫醒我）、免打扰服务（别理我，烦着呢），等等。在描述智能网业务之前，我们先看看这些基础的电信业务能给客户带来何种便利吧。

- 缩位拨号：在电信公司办理完这项业务后，你就可以把自己经常拨打的一些电话，用 1 到 3 位自编代码来代替。
- 呼叫前转：我们经常会因事外出而接不到别人的来电，这有时会误事，或带来巨大的损失。随着人们工作效率的提高和工作频率的加大，实际情况更是如此。登记使用呼

叫转移，你可以在离开家或办公室时，把临时去处的电话号码（或者你随身携带的小灵通或手机号码）"告诉"PSTN，这以后，打到你家或者办公室的电话便会自动转移到你的临时去处的电话号码（或者你随身携带的小灵通或手机号码）。当然你要记住，在回到家里或者办公室里，应及时注销。这项服务又被称为"跟随业务"。

- 遇忙回叫：我们经常会碰到这类情形 —— 拨对方的电话总拨不进去，因为处于占线状态。由于不知道对方什么时候才能空闲，常常需要一次次地试拨。启用"遇忙回叫"服务后，拨不通电话时便可挂上话筒等待，一旦对方电话空出来，交换机便会自动回叫你的电话。这不仅节省时间，也节省了交换系统的"体力"。
- 三方通话：在不中断与对方通话的情况下拨叫第三方，实现三方共同通话，就是我们常说的"三方通话"。三方通话和会议有相似之处，都是多人对话，但是实现机理上完全不同。
- 闹钟服务：又称"叫醒服务"，登记使用这项业务后，你的电话机便可起闹钟的作用，只需用拨号的方式把这个时间通过按键输入电话中，到时候，你的电话机便会响铃，提醒你按计划行事。
- 免打扰服务：在你忙得不可开交时，可以使用该服务。这项服务并不是把你的电话切断，而是在这段时间内让电信公司或你指定的人受理你的电话。

要在程控交换机上增加新业务，就要对程控交换机的软件进行修改。但是这种工作的难度很大，修改周期都很长，难以做到快速引入新业务。智能网就是在这种增值业务需求不断旺盛的情况下诞生的。

智能网是一种特殊的网络，它能够把更多的"智能"加载到 PSTN 上去，实现更加丰富的业务。那么"智能网"为什么能做到这一点呢？

"智能网"，就是"剥夺"程控交换机的逻辑控制权，由专门的系统对业务进行管理，控制 PSTN 予以实施。引入专门的系统，可以在多厂商环境下快速引入新业务，并能安全加载到现有的电信网上使之运行；这又是一种新的分工细化，管交换的好好做交换，管业务的专心做业务。这个专门的系统，就是"智能网"。老杨提醒各位读者：其实智能网带给 PSTN 的，不是功能的增加，而是控制权的分离和由之带来的新业务开发的便利性。智能网实现新业务，是将交换机的交换部分与业务控制逻辑部分分离，程控交换机只完成基本的交换和话务统计功能，业务控制逻辑则由专门的部件 —— 业务控制点（SCP，Service Control Point）来完成。原有的程控交换机如果能够与 SCP 配合工作，就称为业务交换点（SSP，Service Switch Point）—— SCP 就是智能网的节点，SSP 是程控交换机的特定节点。SCP 与 SSP 配合工作，采用标准协议，才能真正在多厂商环境下实现业务的快速部署。而智能网又是以计算机和数据库为核心的业务平台，它依靠七号信令和大型集中数据库来支持，其结构如图 9-10 所示。它的基本原理概括为一句话，就是在 PSTN 中引入用户数据库，在交换机和用户数据库之间通过各种协议进行信息交互，以实现用户数据的查询，并以此为基础，提供多样化的增值服务。



智能网概念模型分为 4 个平面，如图 9-11 所示，下面将分别描述。出于对技术的尊重与对读者的承诺，老杨不得不承认下面的内容有些晦涩，在任何智能网的教科书中，这都是很难理解的一部分。下面以校园 201 卡业务为例对智能网的 4 个平面进行对照讲解。

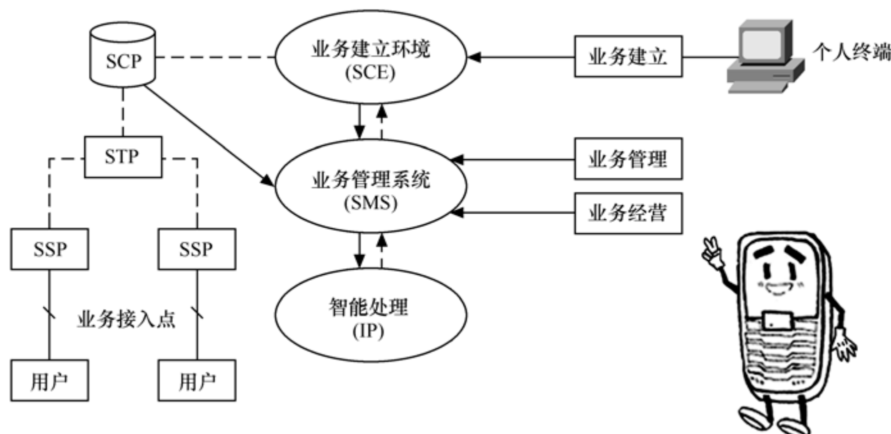


图 9-10　智能网的结构示意图

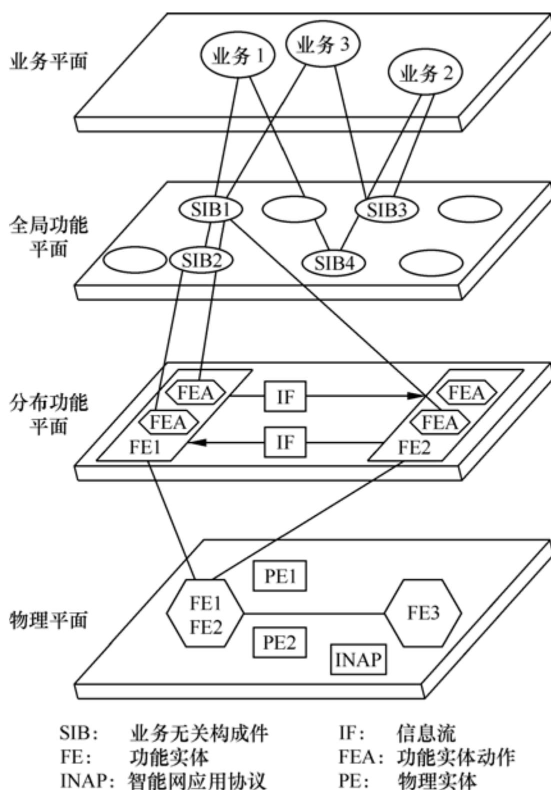


图 9-11　智能网“四平面”的概念模型

- 业务平面：从业务使用者角度来描述智能业务，这个平面只需说明某种智能业务的业务属性，暂不考虑业务的具体实现。校园 201 卡是预付费业务，每个学生要购买一张卡，通过拨打接入号、输入卡上的账号和密码，认证通过后，就能拨打电话。
- 全局功能平面：面向业务设计者，它定义一系列与业务无关的构件（SIB，Service Independent Building Block），并描述这些构件如何"链接"及如何按一定顺序执行，以便完成某种业务的整体逻辑。这其实是一组呼叫流程，把校园 201 卡业务细化为接入号指向特定中继群、账号密码的传送、余额查询、被叫号码的接收、欠费后的 IVR 等具体的功能逻辑部件和它们之间的逻辑关系，分析"何种状况下调用何种功能"。每个业务逻辑实体就是一个 SIB。
- 分布功能平面：描述每个 SIB 的功能是如何完成的。将每个 SIB 分解为若干个功能实体的动作，并描述这些功能实体动作如何分布在相应的功能实体中以及这些功能实体之间应交换的信息流。对在整体功能平面中的每个 SIB，再进行技术细化，明确每个 SIB 要调用的功能实体，比如谁接收账号密码、谁接收被叫号码、认证服务器的部署、计费服务器的部署、IVR 服务器的部署、交换机的拓扑结构，等等。
- 物理平面：描述如何将分布功能平面上的各个功能实体映射到实际的物理实体上。在每个物理实体中可以包括一个或多个功能实体。在分布功能平面中的各个功能实体间传送的信息流，转换到物理平面上就是各种物理实体之间的信令交互过程。常见的物理实体有 SSP、SCP、智能外设（IP，Intelligent Processor，注意不是 Internet Protocol）、业务管理点 SMP 和业务生成环境节点。这需要对每个功能实体的具体功能设定做进一步的细化，比如交换机的设定、认证服务器和计费服务器的设定、IVR 服务器的设定等。

理论联系实际的结果，让再晦涩的学问也变得简单明了。这里有对我们有价值的哲学内涵。



- 任何科学论述，都应基于客观存在的物质基础和人类发掘的逻辑关系，再抽象的事物、再离奇的逻辑，通过冷静、严肃和客观的分析，都最终归结为几个基本的部件和几条基本的逻辑推理过程。
- 对于复杂业务逻辑的业务，要一层层地予以分析，从业务描述到功能描述，再到功能分布，最后归结为某几个部件的功能实现，这样的分析更有助于业务的创新和部署。"胡子眉毛一把抓"的做法要不得。
- 上述结论可以应用于任何抽象的业务逻辑以及任何复杂的自然现象或者社会现象中。

智能网提供的业务丰富多彩，老杨再列举几例。

- 改号通知业务，又称为"居间业务"：用户在变更地址安装新电话的时候，只要申请改号通知业务，就可以保留原用号码一段时间（一般为几个月时间）。在保留期内，如果有人拨打原来的电话号码，电话将自动转接到新的电话号码上，有的系统可以语音提示主叫方拨打新的号码。



- 电话信息服务：电话信息服务是利用电话网、计算机局域网和数据库技术，把信息的采集、加工、存储、传播和服务集为一体，向全社会提供综合性、多层次和全方位服务的一种业务。电话信息服务分为人工和自动两种。电话信息业务正在发展之中，例如，传统的基于固定电话网的 114 查号台服务正在全面升级为“号码百事通”模式的 118114/116114，其理想是希望成为能提供行业首查、查询转接、信息发布、通信助理等众多服务项目的综合信息服务平台。但实际情况还有待进一步的市场检验。

智能网的引入，让 PSTN 提供业务的速度由“加法”变成了“乘法”。没有了智能网，PSTN 就成了没有“精神”的躯壳。但 PSTN 系统的诸多增值业务，其业务拓展性其实还是受限，尤其是与 IP 网相结合的增值业务，用智能网实现起来，难度依然很大。新的网络架构—— NGN 已经诞生，正在获得广泛应用。NGN 能够让电信增值业务指数级增长，因此被视作未来电信网的基础架构。



PSTN用于数据接入的三种武器

把电话交换网当做数据接入网，使 PSTN 焕发青春。PSTN 用于数据接入有三种武器，下面分别介绍。

1. 第 1 种武器——拨号上网

拨号上网是在 PSTN 基础上发展起来的互联网接入技术，在 1998－2002 年，这种方式是国内接入互联网的最主要的实现方式，163、169、165 等接入号的盛行，使中国老百姓初次实现了家庭上网的梦想。这也容易理解，PSTN 是目前世界上分布最为广泛、应用最为普及的通信网，利用电话线以拨号方式接入互联网显然具有经济、灵活和方便的特点。中国的家庭用户在 20 世纪 90 年代中期爆发式地安装电话，给电信运营商留下了快速部署互联网接入的有利条件。但是，由于电话拨号使用的频带和电话相同，在拨号上网过程中，电话就处于占线状态。很多运营商推出了专门用于家庭拨号上网的第二根电话线业务，资费与第一根电话线完全不同，也获得了市场的认可。

拨号上网的过程中，用户端的计算机通过串口（以 DB9 居多）或者 USB 接口连接拨号 Modem，Modem 通过电话线连接局端。Modem 以 56kbit/s 速率居多。

在电信公司的机房，电话线通过交换机后，汇聚成 E1 形式的连接接入服务器（NAS，Network Access Server，有时候与 ADSL 接入方式对应的被称为“窄带接入服务器”），接入服务器一端通过 E1 连接 PSTN，另一端连接互联网。

拨号上网，一般要根据账号收费，电信公司或者服务商需要认证拨号软件中输入的账号是否合法，依此统计时长，这就需要对拨号上网的账号和密码进行认证。拨号过程中，账号和密码采用 PPP，通过电话线路与接入服务器交互信息，指定一个认证服务器（RADIUS 服务器），在 RADIUS 服务器上存在所有账号和密码的列表，若用户输入正确，则数据通道打开，用户可以上网；若账号和密码不正确，则数据通道关闭，拨号软件显示拨号失败。

这里面提到了远程用户拨号认证服务（RADIUS，Remote Authentication Dial In User



Service）。这是在通信网中经常涉及的术语。RADIUS 协议最初的目的是为拨号用户进行认证和计费，后来经过多次改进，形成了一项通用的认证计费协议。由于 RADIUS 协议简单明确，可扩展，因此得到了广泛应用，包括拨号上网、xDSL 上网、小区宽带上网、IP 电话、移动电话预付费等业务。后来 IEEE 提出的 802.1x 标准，是一种基于传输层“逻辑端口”的标准，用于对无线网络的接入认证，在认证时也采用 RADIUS 协议。说简单点，RADIUS 是一个通过在认证、鉴权过程中的握手机制，规定了握手信号都携带哪些信息，并且解决了需要增加所携带信息时，如何进行扩展的问题。

还有一个本书中将多次提及的术语——PPP。它是用来管理点对点连接的。可以将其理解为一种用于在拨号过程中交互登录和安全性信息的一种特殊的封装方式。拨号过程通过 PPP 实现认证功能，保证有合法权限的人才能登录到信息服务器或者网络上去。什么叫“有合法权限”的人呢？互联网接入中，已经向 ISP 缴费并获取了账号密码的人，远程登录企业网时，企业内部的员工或经过企业同意的企业的合作伙伴，他们都是“有合法权限的人”。

哇，PPP 有这么神奇？是的，PPP 有一整套机制来保障其有如此神奇的功能。

比如通过 PPP 获取 IP 地址。任何上网的计算机必须拥有至少一个 IP 地址。当一台计算机向某个信息站点发送请求信号（如点击 WEB 链接、按“接收邮件”按钮、通过 IM 发送消息给朋友等），该站点的反馈信息需要传送到这台计算机上，那么数据流（如网站内容、邮件、即时消息等）必须通过 IP 寻址的方式找到这台计算机。但是拨号上网的计算机如何获得 IP 地址呢？原来，计算机拨号过程中，若 RADIUS 认证通过，接入服务器会通过 PPP 链路将一个可用 IP 地址发送给计算机——这就是 PPP 中 NCP（网络控制协议）所负责的工作。接入服务器一般会存储足够的 IP 地址，保证每个上网的用户都能分得可用 IP 地址，这些 IP 地址是人为设定的。若用户断网，该 IP 地址被释放，可以重新分配给其他计算机使用。

拨号上网使用的协议和管理控制技术门类繁多，尤其是 PPP 和 RADIUS，在通信网中使用频率非常高。

2. 第 2 种武器——ISDN 的组网和应用

综合数字业务网（ISDN，Integrated Services Digital Network）在欧美的应用非常广泛。我国国内 ISDN 的应用时间短、用户少。

“综合”二字，在不同时代有不同的含义。提出 ISDN 这一术语的时代，“综合”是指语音和窄带数据的“混合”，它曾经被赋予很高的历史使命，它也很好地完成了历史使命，虽然 ISDN 的数据带宽在今天看来是如此差强人意，但也是不小的历史进步了！ADSL 技术的后来居上让 ISDN 快速退出了主流舞台。

ISDN 终端和 ISDN 交换机之间的接口有两种常用类型 —— BRI 接口和 PRI 接口。前者是 1～2 根电话线连接交换机和终端，后者则采用 E1 连接。

BRI 包括两条传输速率为 64kbit/s 的全双工的 B 通道和一条传输速率为 16kbit/s 的全双工 D 信道。B 通道用来传送用户信息，D 通道用来传送信令和低速的分组数据（当然可以是 IP 数据）。一般这类接口被称为 Basic Rate Interface，ISDN 基本速率接口。



PRI 学名“基群接口结构（Primary Rate Interface Structure）”，又叫做“一次群接口”。对于欧洲和中国，采用 2 048kbit/s 的传输速率时，基群接口的信道结构为 30B+D，B 信道的速率为 64kbit/s，用来传送用户信息，D 信道的传送速率为 64kbit/s，用来传送用户—网络信令。对于北美来说，采用 1 544kbit/s 的传输速率，基群接口的信道结构为 23B+D，B 信道和 D 信道的传送速率与 30B+D 中的 B 信道和 D 信道相同。ISDN 留下了 PRI 这样一个接口信令协议，目前应用非常广泛，PBX 与 PSTN 的连接、NGN 与 PSTN 的互通中随处可见 PRI 的身影。

3. 第 3 种武器 —— ADSL 的组网和应用

xDSL 中应用最为广泛的是 ADSL 技术，就是因为它最符合家庭和小企业对语音、互联网的综合接入需求，因而成为基于电话线传输的家庭和小企业宽带接入的主要技术手段。A 是 Asymmetric 的缩写，表示“不对称”，对于 DSL 而言，用户端向局端的方向被称为“上行”，反方向被称为“下行”。上行带宽窄，下行带宽宽，这不正是当前互联网接入的实际情况吗？

所有 xDSL 技术都是打电话线的主意。它们认为电话线只传电话，实在是太浪费了！于是它们“八仙过海，各显神通”，把电话线上没被话音占用的高频部分利用起来传送数据信号。ADSL 所占用的上下行频谱情况如图 9-12 所示。

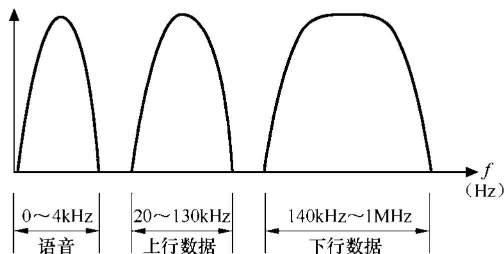


图 9-12　ADSL 的上下行频谱示意图

大部分的 ADSL 接入都是为了接入互联网，而目前互联网大部分的应用，都是用户发送请求信号到互联网的信息服务器，就是我们说的“上行”；信息流将通过电话线传送到用户端，就是我们说的“下行”。信息流的数据量较大，需要的带宽较宽；而请求信号数据量很小，需要的带宽也较窄。这有点类似于高水平的电视访谈。主持人的提问总是寥寥数语，而被访者则往往长篇大论侃侃而谈。

虽然 ADSL 采用不对称技术，但是在实际应用中，大部分的双向速率却相同。随着互联网应用的愈加广泛，大量用户需要上传信息，尤其是视频通信和 P2P 的广泛应用。这就需要上行信道也具备较大带宽，这让 ADSL 逐渐“对称”起来。

ADSL 技术需要在局端和用户端的设备都具备“分离功能”，将语音和数据通过在电话线上的不同频段截然分开——为什么要分开，在第 4 章已经描述过（就像男女虽在一个游泳池游泳，但进入游泳池前后，都要分开在不同的两个更衣室更衣，如图 9-13 所示）。局端有 DSLAM 设备，在用户端有语音数据分离器，它们就像一种特殊的筛选器，无非筛选的不是男和女，而是把数据和语音隔离到各自的线路中去，当然，还有一个过程正好相反，要把数据和语音都混合到一根电话线上。xDSL 的出现，让电信运营商不用重新铺设线缆就可以满足广大客户新的需求。（如果你发现你家的电视还可以洗衣服，而且洗得很干净，对电视图像效果还毫无影响，你会如何选择呢？当然不需要再购置一台洗衣机啦！）





图 9-13　ADSL 中分离器的作用

ADSL 目前在国内几乎所有城市都已经开通，但是速率差别较大。高的可高达双向 8Mbit/s，低的仅为双向 512kbit/s，512kbit/s 的速率有多宽？几十兆的文件下载、网页的浏览、图像的传送等已经足够，点对点的视频聊天和基本的电话会议也没有问题了。ADSL 接入互联网，每个客户独享从用户端到运营商 IP 骨干网或者城域网的带宽，对于当前的大部分需求而言，已经很好很强大了。目前的 ADSL 一般能传送 3～5km 距离，对于绝大部分的用户来说，这个距离也是非常合适的。

随着互联网的进一步发展，越来越多的信息将被上传和下载，对带宽的需求是无止境的。ADSL 也需要进步。

第二代 ADSL 的两兄弟——ADSL2 和 ADSL2+诞生了！ADSL2+把传统的最高全双工 2Mbit/s 速率提升为最小下行 16Mbit/s，上行 800kbit/s，下行最大传输速率可达 25Mbit/s！如果付诸实施，数据网传送高清视频，指日可待！

ADSL 接入电信运营商的 IP 网络，也是需要认证的。基于 IP 技术的认证方案中，PPPoE 是最流行的技术之一，这里面的“E”就是 Ethernet（以太网）。前文已经详细介绍过 PPP，而 PPPoE 则是将点对点的 PPP 帧封装到以太网帧里——这很有趣！点对点的 PPP 和广播形式的以太网竟然能够融合在一起发挥作用，浪漫而富有创意！通过以太网的寻址方式，PPP 帧到达目的地，这在 PPPoE 中称为 Discovery（地址发现）阶段；到达目的地的以太网帧解开以后，PPP 发挥作用，正如前文对 PPP 的描述，验证账号和密码，分配 IP 地址并进行网络层和数据链路层管理。ADSL 的拨号被称为“虚拟拨号”，因为 PPPoE 只是通过以太网仿真了拨号的过程。PPPoE 就是在以太网这个葫芦里，藏着 PPP 这剂良药。

ADSL 技术的强大生命力，在于让电话线这棵“老树”发了宽带这根“新芽”！任何新的技术，都一定要与现实情况相结合，有效继承，充分利用，节约投资，增加收益，这是永恒的投资理念。

第 10 章 Chapter 10



数据通信

在 20 多年前，语音通信和数据通信“井水不犯河水”。然而今天，它们已经是“同志加兄弟”了。

数据通信往往被定义为“数字信息的接收、存储、处理和传输”。“数字信息”是一种列举式的定义，比如计算机中的一个文件就是数字信息，它们的信息源是明确的“1”和“0”的数字组合。很多信息源，开始并不是大量 1 和 0 的组合，但是它们能够通过某种编解码技术，转化为 1 和 0 的组合，比如数字视频等多媒体信息，它们也在数据通信网上进行传送和交互。接下来，我们发现，任何的原始信息，都可以通过特定的处理，变成 1 和 0 的组合，“数字信息”的范畴不断扩大，为融合通信创造了必要的技术准备。

在本章老杨将列举传统意义上的几种典型的“数据通信”的技术体制及其应用，而不拘泥于某种技术体制究竟属于哪个范畴哪个门类。语音和数据，你中有我，我中有你！上一章的最后一节我们就已经知道，单纯看一根电话线，你无从判断其中传递的是语音还是数据。



还从电话网的铜线开始——xDSL

在第 9 章，老杨在语音交换网基础上趁热打铁，介绍了 ADSL 的基本原理和应用。ADSL 只是 DSL 的一个应用最为普遍的分支。各位知道，DSL 是将铜线中频率未被电话占用的那部分用作数据传送。电话用户线已经覆盖到千家万户，因此作为数据业务传送则顺理成章。这让若干年都只能用来传送电话信号的铜线焕发了自己的“第二春”。

DSL 家族兄弟姊妹甚多，目前应用最广的是 HDSL、ADSL、VDSL、SDSL 以及带有 G 字头的若干 DSL 技术。

高比特 DSL 技术（HDSL，High speed data rate DSL）非常成熟并已经获得较为广泛的应用。这种技术可以通过现有的铜双绞线以全双工 T1 或 E1 方式传输，且传送距离可达 3.6～5km！

除了 HDSL，其他几种 DSL 技术，如 ADSL、SDSL、VDSL 等，基本都应用于 IP 传送而不是 TDM 传送。

甚高比特率 DSL 技术（VDSL，Very high data rate DSL）是部分高端 IP 用户享受的一种 IP 接入方式。VDSL 类似于 ADSL，也是不对称类型的，在 1.5km 以内可达 13Mbit/s 的传输

带宽！VDSL 与 ADSL 一样，在局端和用户端配置 Modem，电话业务通过分离器和耦合器加入信道，从而实现电话业务和数据业务的隔离传输。

对称比特 DSL 技术（SDSL，Symmetic data rate DSL）也是部分高端 IP 用户享用的、对称的 IP 接入方式，一般应用于双向带宽相同的线路中，其速率为 160kbit/s～2Mbit/s。一般的最高传输长度为 3km。

G.SHDSL 是对称的高比特用户数字环路。G.SHDSL 可比其他 DSL 技术产品传输更远的距离，并具有速率/距离自适应的能力。使用一对电话线，支持 192kbit/s～2.312Mbit/s 的可变速率；如果使用两对电话线，则可支持 384kbit/s～4.72Mbit/s 的速率。

DSL 技术是利用电话线中的高频信道传输数据，高频信号的弱点是损耗大并易受到噪声干扰。因此对 xDSL 来说，速率越高，传输距离越近。此外，双绞线的线径、质量等参数也会对 DSL 的速率造成影响。



分组网 PSPDN

分组网，全名是“公用分组数据交换网（PSPDN，Packet Switched Public Data Network）”，又叫 X.25 网络，是最早的数据传送网。X.25 接口在其大部分生命周期内都不可支持高达 64kbit/s 的线路，直到 ITU 在 1992 年重新制定标准将速率提高到 2Mbit/s。在今天的人看起来，PSPDN 的传送带宽很低—— 一般在 64kbit/s 以内，大部分是 9.6kbit/s、19.2kbit/s 等速率。今天的人们满眼都是“宽带”、“高速”，看待低于 64kbit/s 速率的网络，都会有一种“超级过时兼特别落伍”的感觉。但是 64kbit/s 到底有多宽，你知道吗？

- 每个汉字是 2 个字节，每秒钟能够传送 4 000 个字，一本 30 万字的书，如果不考虑传送中的开销，传送时间应该是 75s，也就是 1 分多钟。
- 很多 ATM 自动取款机上连银行数据网的带宽只有 9.6kbit/s。
- 2000 年最流行的拨号 Modem 是 33.6kbit/s。

正如没饿过肚子的孩子不知道粗茶淡饭的可口，没吃过苦的人不知道平平淡淡就是幸福一样，如果你没有看到上述数字，你就不会觉得 64kbit/s 的速率其实也是很宝贵的。当然我们也要承认，多媒体、视频、MP3、高清数字电视、Flash、P2P 流行的今天，64kbit/s 的确落伍了！

X.25 网络是第一个面向连接的数据网络，也是第一个公共的数据网络，其数据分组包含 3 字节头部和 128 字节数据部分。它运行 10 年后，于 20 世纪 80 年代被无错误控制、无流控制、面向连接的帧中继所取代。20 世纪 90 年代以后，出现了面向连接的 ATM 网络。

X.25 协议是 ITU 建议的一种协议，它定义终端和计算机到分组交换网络的连接。但 X.25 网络是个“慢性子”网络，力求稳妥的同时效率很低，不能适应越来越多的实时性强的业务需求。

但 X.25 仍是数据通信的一个里程碑。它的很多理念，不管正确还是错误，都为后来的数据通信网提供了重要的实践依据。帧中继、ATM、IP、MPLS 技术都吸取了它的大量经验教训。应该说，X.25 对数据通信尤其是分组网的贡献，功不可没。





透明链路传送网——DDN

DDN 是 TDM 网络中的“立交桥”。它是应用最为广泛的时隙交叉连接和用户数据接入网。DDN 是“数字数据网”（Digital Data Network）的简称。

我们知道，SDH 传送高于 2Mbit/s 的 TDM 信号，但是大量的终端，其出口都小于 2Mbit/s。比如语音通信，可能两个分支机构之间只需要 2 路同时通话，那么中间只需要 128kbit/s 的 TDM 传输就够了；一台思科 25 系列路由器，其上连带宽只需要 512kbit/s；一台普通的会议电视终端，上连的 V.35 接口只需要 384kbit/s 的带宽。两路语音信号，需要从北京传送到上海；路由器需要从企业机房传送到运营商机房的路由器上；会议电视图像需要从天津传送到广州。这么多 $N \times 64$kbit/s 的传送，都是透明的。当然可以采用直接拉物理线路的方式满足这样的需求，但是这是典型的“大炮轰蚊子”——大材小用了！客户为了一个单一需求，不可能做太大的投资。客户只希望某个机构能够提供这么一个传送通道，不改变任何信息，从 A 地传送到 B 地去。于是有了 DDN。

DDN 分为数字接入部分、复用设备和数字交叉连接设备。

先将各种终端通过传送线路连接到复用设备上，并进入数字交叉连接设备进行“交叉连接”，并通过反向过程到达目的地，这就是基本的 DDN 的业务。

先看看 DDN 的传送物理线路。从用户终端到 DDN 的复用设备或者交叉连接设备，方式很多，早期一般是通过基带猫或者 HDSL 的方式，利用电信运营商铺设的大量电话线进行传送。而数字交叉连接设备和复用设备之间和内部，都采用 E1/T1 甚至更高速率的 TDM 线路连接。谁来提供这些 E1/T1 线路呢？SDH！SDH 高质量、高安全的传输，让 DDN 的传送锦上添花！

如果把 SDH 网络比喻成大树的枝干，那么 DDN 则更像是树的根系，庞大的根系连接着无数企业、学校、政府机关。因此有人建议把 DDN 作为传输网的一部分，但是这样分类的不可取之处在于，传输网应该重点研究如何保证传输质量、提高传输效率和降低传输终端带来的损失，而 DDN 的作用，则更多体现在如何建立和维护端到端的透明链路，以作为各种数字业务的承载链路。因此还是将 DDN 归为数据网的范畴更加科学。一个佐证是，DDN 都是由电信运营商的数据部门负责维护而不是由传输部门维护的。

DDN 自成体系，网络连接、调用电路都有自己一套完整的规则。在弄清楚 DDN 的工作原理之前，我们有必要先了解什么是“交叉连接”。交叉连接指时隙之间的数据转接，就是把某物理端口 A 的时隙 x 的信息转送到物理端口 B 的时隙 y 中去。我们从外部看，每一台交叉连接设备都有若干物理端口，任何数据都是从某个物理端口的某个“时隙”送进来，从另外一个物理端口的某个“时隙”送出去。在这台设备内部将这两个时隙对接起来，就叫做“交叉连接”。交叉连接一般可以用以下两种描述方式，例如：

- 把第 4 个 E1 端口的第 3 时隙的数据传送到第 6 个 E1 端口的第 8 时隙；
- 把第 8 个 E1 端口的 3、4、5 时隙的数据分别传送到第 12 个 E1 端口的 20、24、25 时隙。

能干“交叉连接”这个活儿的工具叫做“交叉连接设备”，当然，有一种特殊的交叉连接设备叫做“复用器”，那是把多个物理端口的信息（这种物理端口包括 E1 端口或者像 V.35 这样的串行端口，HDSL、基带猫传送的出口一般都是 E1 或者 V.35 接口）会聚到一个 E1 端口的若干时隙上去的工具，如图 10-1 所示。

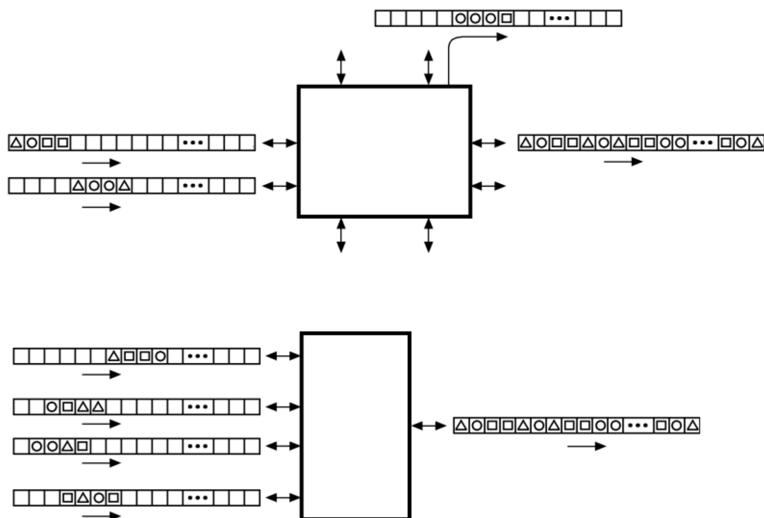


图 10-1　交叉连接设备和复用器的原理

注意，“交叉连接”并不是“交换”；“交叉连接设备”也不是“交换机”。所有不对数据进行任何形式改变，只是将数据从 A 位置移动到 B 位置的设备、线路等，都不是“交换”。

为什么会有“交叉连接”的需求？

- 我们可能把多个 $N\times$ 64kbit/s（N = 1～31）的“细颗粒”甚至更低速率的颗粒如 2.4kbit/s、（9.6kbit/s，19.2kbit/s，38.4kbit/s 等）通过串行的 V.35 接口（当然也可以是 E1 接口）合并到若干个 E1 的“粗线路”上去，把这些 E1 线路做填充，节省干线传输资源，这种应用下的交叉连接设备叫做“多路复用器（MUX，MUltipleX）”或者简称“复用器”，就是把多个时隙组合起来，节省更多的端口和传输资源。
- 可以任意调度连接在上面的所有其他设备（如语音交换机、路由器、SDH 等）的资源，实现用户接入、数据传输等功能。

我们可以把交叉连接设备想象成繁忙的国际海港，如图 10-2 所示。每个国家的货物、船只都到这里集中。美国的空船过来，装上泰国的香米；日本的鳕鱼，被装到澳洲来的船上，各自做了交叉，把内容放到需求方的容器里，大家各取所需，满载而归。对于有些货物，东南亚的香料，可能只有一个集装箱，巴西的可可，也只有两个集装箱，澳洲的羊肉，有 4 个集装箱，他们都希望卖给中国的商户，于是问题很容易解决，这 7 个集装箱正好放在中国商户的空船上，由中国商户负责运送回国，这样就不用这 3 个国家的船只分别到中国运输货物了。





图 10-2　繁忙的国际海港

这个比喻要注意一点，通信不是货物。对于更高级的功能，你可以考虑将某个时隙的数据拷贝到两个其他端口的某个时隙中去，这样就实现了点到多点的传送。

另外，DDN 也有路由保护机制，当一条链路发生故障，可以迅速切换到备用链路上。

DDN 目前都在 ATM 或者 SDH 上承载，其低速率和高昂的价格使其需求量严重萎缩。



局域网互连的技术——帧中继（FR）

帧中继（Frame Relay）是一种连接局域网的技术。

局域网和语音网有什么区别？局域网是由计算机组成的，计算机之间传送的信息，最大的特点是突发性强，不像语音业务一样流量均匀（即使不说话，照样有“空信号”传送）。当你浏览一个网页，打开页面后长时间处于阅读状态，这时候并没有数据流通过网络“流”向你的计算机。通信世界里，语音网和数据网曾长期处于“对峙”地位，各自领域有各自领域的专家，各自领域有各自领域的标准，而真正最大的区别，是他们流量突发性方面的表现完全不同。局域网之间的连接当然也可以通过 DDN 来承载，但是 DDN 带宽固定，不管局域网之间是否有数据流量，DDN 线路始终被占用，如果局域网之间的数据量瞬时增大，DDN 并不会“网开一面”，为其专门提供超额带宽，那么这时候数据就会在线路上发生拥塞。

帧中继来解决这类问题得心应手。它将数据信息以“帧”的形式传送，并采用存储转发模式，其使用的传输链路只是一种逻辑链路，可以实现统计复用，而不像电话交换网那样是

实际的物理连接。用道路和车辆来举例，假设有 100 辆车，每辆都从 10 种颜色中选择一种并涂上这种颜色，在一条道路上行驶，每种颜色的车辆形成的车队就相当于占用了一条逻辑链路。而统计复用正是帧中继支持突发业务的关键所在！

如果有 50 条最大突发量为 2Mbit/s 的帧中继连接在同一条物理链路上，该物理链路可能只需要 30Mbit/s——除非这 50 条连接在同一时刻到达 2Mbit/s——但这种情况发生的概率只在理论上存在，通信作为应用技术，它绝不是一个“唯美主义者”，它只以“满足需求”为准绳，在追求完美的过程中把握“平衡”。

在一条物理连接上，可以同时通过多条帧中继的逻辑链路，不同的逻辑链路，用不同的数据链路通路标识符（DLCI，Data Link Channel Identity）来做标识（就像刚才的例子用颜色来标识逻辑链路），而每个 DLCI 标识出来的“链路”，将承载一个业务流。DLCI 仅仅用于链路标识，在帧中继的交换机中或者路由器中可以被修改，DLCI 占用帧头中的 8 位，因此其取值范围是 0～255。

帧中继一个帧的长度可达 1 600 字节，适合于封装局域网的数据单元。大家还记得吗？以太网帧最大可达 65 535 字节，对于这样的超大“货物”，用帧中继这样的“船”来运载，效率将是非常高的。

帧中继是典型的面向连接的交换技术。当客户申请一条帧中继连接，电信运营商的维护人员将在帧中继网上建立一条逻辑链路。随着 ATM 的成熟，帧中继业务被承载在 ATM 网络上，纯粹的帧中继网逐渐退出了历史舞台。



学院派经典技术——ATM

在第 6 章已经简单介绍了 ATM 和 IP 的世纪之争。以技术为导向是前 100 年电信发展的主要思维方式，而 21 世纪的通信发展，必须以应用和客户为导向。这就是 IP 胜出的根本原因。用一句话来形容 ATM 技术，老杨更愿意用一本畅销小说的标题来形容——“看上去很美”！

那么老杨将从几个角度描述 ATM 为什么“看上去很美”。



- 协议标准而严谨。无论 ATM 的分层结构还是帧格式，以及 ATM 的适配层协议，只要你潜心去读，你就会感受到，这每一种封装，每一种适配，都是由在电信领域工作多年的专家们精心设计出来的，如此一丝不苟、如此严整、如此不容置疑！
- 应用宽泛而有序。ATM 适应所有语音、数据和视频业务，并提供所有业务的承载能力。ATM 把各种业务类型可能对网络形态造成影响的所有参数都做了周密安排，并针对每种参数，在链路中都做了相关定义。仅从支持业务类型而言，ATM“百密而无一疏”。
- 微妙地平衡于效率和效果之间。在帧长方面，ATM 曾“思前想后”：帧过长不利于实时业务，帧过短，帧头占了很大比例，效率很降低。最终，专家们给 ATM 取了



一个固定帧长——53 字节，可谓“增之一分则太长，减之一分则太短”。

- QoS 完美而繁琐。ATM 最为人津津乐道的是它完备的 QoS 保证能力。由于对可能影响网络形态的所有参数都考虑进去了，因此 ATM 保证 QoS 能力是前无古人的。但“成亦萧何，败亦萧何”，完美意味着复杂，复杂的结果就是流行性差。ATM 的衰落，因为繁琐，也因为太过完美。
- 命运悲壮而无奈。ATM 留给电信业巨大的思考空间，电信专家们不得不感慨，这是一个遗憾。ATM 如果有灵，是不是也会如周瑜般感慨：既生 ATM，何生 IP？

我们把 ATM 技术当作标本进行解剖，是为后续对 IP 的讲解铺路，ATM 的经验和教训影响了其后多种数据通信和传输技术体制。在目前绝大部分的教科书和论文里，对 ATM 原理的论述，其参考意义远远大于其应用价值。这里介绍 ATM 的技术要点，希望读者能够从数据通信的一般原则上去理解，而不要把它孤立起来。

1．固定帧长保证快速交换

大大小小、高高低低、胖胖瘦瘦，使这个世界丰富多彩。而 ATM 则采用 53 字节的固定帧长，期待让这个世界更加精彩。专家给这 53 个字节的数据包起了个名字叫做“信元”。信，信息，指数据、语音、视频以及其他所有媒体形式，无所不包；元，就是基本要素的意思，和“大伤元气”的“元”是类似的概念。

固定帧长有利于交换设备（ATM 交换机）的转发。在通信网这个完全自治的系统中，固定的分组长度，可以很容易判断“车头”在哪里，“车身”在哪里，而不需要耗费专门的机制去判断，比如以太网帧前面有很长的“先导码”，就像古代官员出行鸣锣开道的队伍一样，打着“肃静”、“回避”的牌子。在这 53 个字节里面，前 5 个字节叫做“信元头”，其他 48 个字节叫做“净荷”。信元头里面有以下信息：该信元要路过的通道的标志。在下文的两级交换中，就要用到信元头里面的通道标识——虚通道标识（VPI，Virtual Path Identity）和虚通路标识（VCI，Virtual Channel Identity）值。

关于 VPI 和 VCI，我们要分清楚这么一个概念：VPI 和 VCI 在信元中作为帧的标识，也在 ATM 交换机中用于电路的标识。也就是说，车辆上有编号，它会根据自身的编号主动选择该编号指定的道路（如图 10-3 所示）。

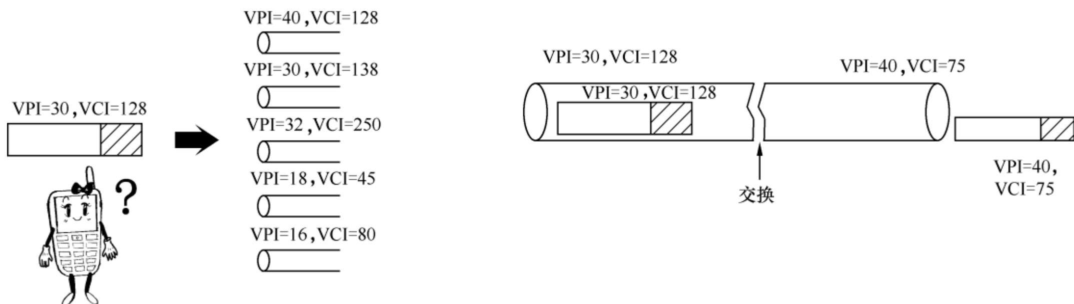


图 10-3 信元 VPI/VCI 和通道 VPI/VCI 的关系

2. 统计复用支持多种业务

ATM 技术是一种面向连接的技术。也就是说，在数据包传送之前，道路已经铺设好了。这条通信通道被称为虚通道（VP，Virtual Path）或者虚通路（VC，Virtual Channel）。VP 是大管道，VC 是大管道中的小管道。

ATM 最大的特点是对 QoS 的支持能力，而能够实现 QoS 的根本原因是，ATM 支持统计复用。什么是统计复用呢？就是动态而非静态地、见缝插针地、勤俭节约地、公平合理地利用信道资源——这真是一种美好、理想、和谐的状态！

怎么理解“公平合理地利用”？一块蛋糕，优先级最高的人独享其中的一部分；剩下的，按照优先级高低来分享。那么，当还剩半块蛋糕，而剩下的人优先级都一样怎么办？抢！谁先来谁先得！谁吃的快谁吃剩下的！道理就这么简单！

怎么理解“见缝插针”？ATM 中优先级最低的业务叫做“尽力而为”式的业务。只要有一点点带宽没有被优先级更高的业务所占用，这个带宽就可以全部分配给某个或者多个“尽力而为”的业务。ATM 把业务分成几种类型，按照优先级特点起名为 CBR、VBR、UBR、ABR 等。在第 6 章我们已经介绍过前三种。

ATM 技术就好像既要定义“水管”，又要定义水管中可能流过的“水流”，以下用此来类比。CRB、VBR、UBR、ABR，都是描述“水管”的，每种类型的“水管”都要有各自的参数定义。只要定义好每种“水管”的最大承受能力，尽可能让“水流”按照各自的特点流经不同的“水管”，并严格按照管道要求来运转，由不同类型数据流转化来的 ATM 信元则在各自的虚通道或者虚通路中传送，整个系统才能有条不紊地按照各种业务的需求平稳运行。

“水流”进入“水管”之前要经过“整形”，防止水压过大冲破“水管”。在 ATM 技术中也有类似的过程，它被称为“流量整形（Shaping）”（如图 10-4 所示）——这种整形和整容有共通之处。整容是让人看着更漂亮，而流量整形则仅仅是业务流在进入管道前进行的对流量的控制、管理和各种参数的调整，它要的效果不是“漂亮”，而是“适合”。流量整形是在 ATM 接入设备中，也就是其他类型的数据（如 IP 数据包、以太网帧、TDM 信号）转化为信元的过程中进行。

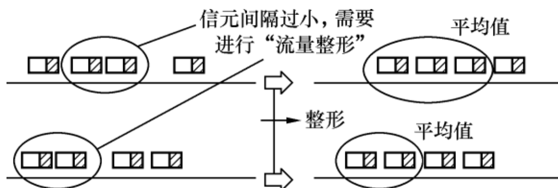


图 10-4 流量整形

在建立链路的起始阶段，VP 或者 VC 就已经被严格定义为某种业务类型，并详细规定了参数。ATM 链路的参数名目繁多：峰值速率 PCR，可持续速率 SCR、时延、时延抖动，ABR 里面还有一个“最低可用速率”参数。这些定义明确了各种类型“水管”的参数。当“水流”流经每类“水管”的时候，水流的实际参数必须满足“水管”定义的参数，比如对于 VBR 类型的“水管”，其流经的水的最大峰值不能超过 PCR 定义的值，其时延抖动也不能超过该“水



管”所定义的时延抖动容限值。

除了定义“水管”，还要定义“水流”进入的方式，是用大瓢盛水往管子里灌，还是用高压水枪往水管里打。这就是怎样把形形色色的数据分组转化为信元的问题。在 ATM 技术中，ATM 适配层（AAL，ATM Adaptation Layer）实现各种数据信息向 ATM 信元的“适配”。比如要运送一个 IP 数据包，IP 包有一定的长度，需要拆分到多个信元里，到达目的地后的信元要拆开包装，重新组装成一个完整的 IP 包（如图 10-5 所示）。这里有一个陷阱！到达目的地的信元，是否会出现顺序错乱的情况？会的！ATM 网并不承诺完全按照发送顺序接收信元，那怎么办？还好，AAL 层在每个被拆掉的 IP 包前面加一个编号字段，这个字段将占用 ATM 的净荷而不是信元头。大家看，一个 1 000 字节的 IP 包，并不是拆分成 1 000/48 个信元！因为这 48 个字节的净荷里面还有一些 IP 包拆分后的编号和组装信息。试想，将一台大型机械拆成无数小部件，如果不给每个小部件都做详细的编号，如何再组装起来呢？这些“编号”是因封装而额外带来的“开销”——怪不得计算机专家总报怨 ATM 的效率太低，不仅仅是信元头，连净荷都不是那么“净”!

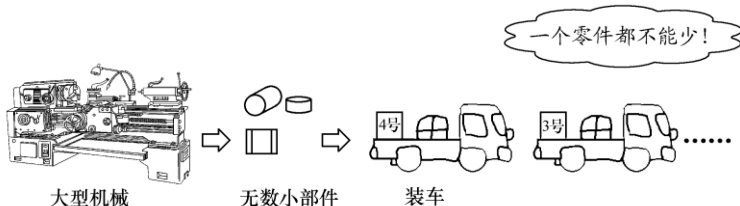


图 10-5 IP over ATM 类似把一个大型机械零件拆分到汽车上运送

3. 两级交换实现粗细颗粒

ATM 技术充分考虑了配置链路过程中的便捷性。两级交换就充分体现了这一点。一般来说，某一类型的业务用一个 VPI 做标识，这类业务里面的每个呼叫用 VPI/VCI 的组合做标识。比如从 A 地到 B 地，有语音业务、数据业务和视频业务，从 A 开始，所有语音业务都将 VPI 设置为 30，而每通电话采用 VCI=1 到 255 中的任意值；所有数据业务都将 VPI 设置为 31，而每个业务连接采用 VCI=1 到 255 中的任意值；视频业务 VPI 设置为 32，每个业务连接采用 VCI=1～255 的任意值。当然，这些管道的标识值可以在交换过程中被改变，如图 10-6 所示。

VP 交换和 VC 交换，都在交换机上进行。也就是说，一根线缆两端，VPI 和 VCI 保持不变（因为线缆不能交换）。交换的结果，业务类型和参数一般不发生变化，发生变化的基本上是 VPI 和 VCI 的值（未必一定发生变化）；当然，从某个端口进来的信元，一定会从另外一个端口出去。

如图 10-7（a）所示，VP 交换：ATM 交换机中的两个端口之间建立一条 VP 通道，A 端口的 VPI 为 1，B 端口的 VPI 为 2，进入 A 端口的所有 VPI 为 1 的信元，都被交换机转移到 B 端口，VPI 变为 2，VCI 值不变。





图 10-6 VPI 和 VCI 在哪里改变?

如图 10-7（b）所示，VC 交换：ATM 交换机中的两个端口之间建立一条 VC 通道，A 端口的 VPI/VCI 为 1/30，B 端口为 2/40，进入 A 端口的所有 VPI/VCI 为 1/30 的信元，都被交换机转移到 B 端口，VPI/VCI 变为 2/40。

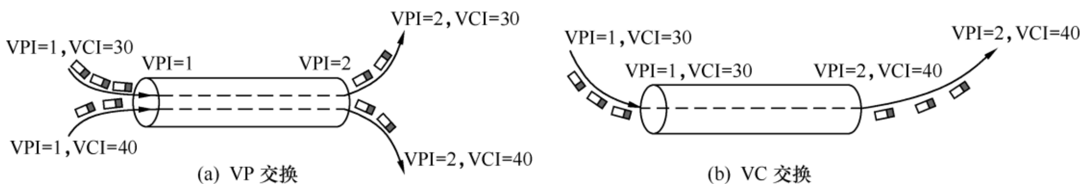


图 10-7 VP 交换和 VC 交换

ATM 的两级交换并非绝无仅有，比如 MPLS 就比 ATM 更生猛！MPLS 甚至支持多级交换！每个 IP 数据包每打一次标签，就是一级，而 MPLS 可以支持打无数个标签。

4. 建链方式适应各种业务

ATM 技术中的通道（VP 或者 VC）有几种建立方式：PVC、SVC 和 SPVC。

注意，PVC 可不是化工产品——聚氯乙烯塑料，那东西可传送不了数据，ATM 中的 PVC 是“永久虚连接”的英文简称。说它“永久”，是指一旦建立，除非人工将其删除，否则它将永远存在。SVC 是交换虚连接，指通过信令呼叫建立起来的虚连接，在需要的时候自动建立起来，在数据传送完毕，自动拆除；SPVC 称为 Soft PVC（软 PVC），采用人工和信令相结合，共同建立链路。由于 ATM 信令过于复杂，又失去了终端市场空间，因此当前的 ATM 网络多用于承载 DDN、帧中继和 IP 业务，在这种情况下，并不需要 SVC 这样复杂的信令呼叫过程来建立链路，所以工程应用中绝大多数采用 PVC 方式。

5. ATM 网络的组成

ATM 网络是由 ATM 骨干交换机和 ATM 接入交换机组成。骨干交换机一般提供 155Mbit/s、



622Mbit/s 的光接口，用于信元的交换；而接入交换机则是多种业务接口（如 E1、V.35、Ethernet 等）和 ATM 接口，用于 AAL、SAR 和流量整形。让我们看一下图 10-8 所示的 IP 数据包在一张 ATM 网络上传送的整个过程吧。

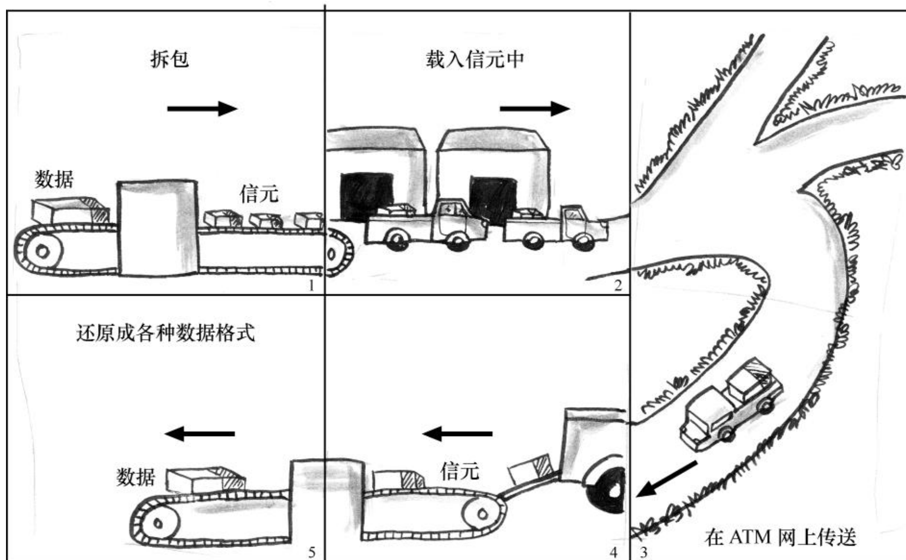


图 10-8　一个 IP 数据包在 ATM 网中的奇遇

下面，就给各位介绍一下 ATM 承载几种基本业务类型的例子，如图 10-9 所示。

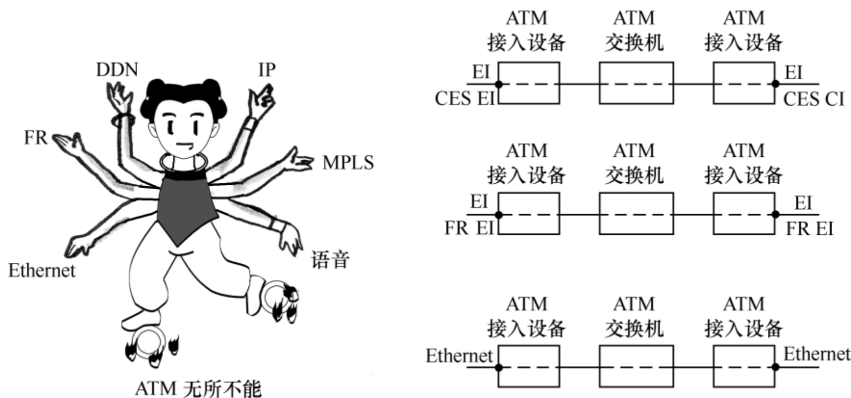


图 10-9　ATM 无所不能

6. ATM 与其他数据网的互通

ATM 可以承载 DDN 业务，是以“电路仿真”方式承载的。在 ATM 接入设备中，对 TDM 链路进行 AAL1 封装；在骨干网上，采用 CBR 业务类型的管道，不管中间是否有业务流经过，ATM 网上的 CBR 管道将保持稳定状态，绝对不会出现别的业务流占用该连接进行传递的情况。

ATM 可以承载帧中继，也可以与帧中继网络实现业务互通（如图 10-10 所示），也就是说，ATM 既可以作为帧中继的承载链路，也可以以 ATM 的终端的形式与帧中继的终端实现互通。

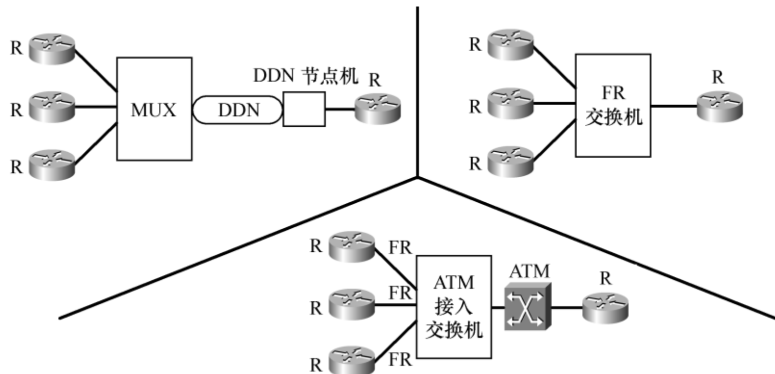


图 10-10　承载业务和业务互通

ATM 可以利用“局域网仿真”技术将 LAN 扩展到广域范围内。而对于 IP，ATM 采用 IPoA 的方式承载 IP 网。ATM 与 IP 之间的互通，受制于转发性能方面的问题，一直没有大规模商用。由于光纤带宽的不断提升，采用 ATM 技术承载 IP 造价反倒更加昂贵，因此当前的工程应用，都采用 SDH 直接承载 IP 网络，下一节就会介绍 IP over SDH。

7. ATM 的兴衰

ATM 技术曾经在全球范围内有比较广泛的应用。在 20 世纪末，ATM 技术成为 B-ISDN[1]的技术基础，专家们梦想 ATM 将成为未来数据网络的核心，它的 QoS 保障机制、多业务的支持能力，在互联网、数据通信、视频通信刚刚起步的时候，太符合人们对网络的诉求！请看看本节的标题——“学院派经典技术”，实至名归！

但是随着 IP 技术的开放性和简易性受到用户追捧，ATM 技术逐渐从核心层进入汇聚层以致传送网的范畴，从占领桌面退缩到传送平台。IP over ATM 的技术复杂性造成其支持 IP 业务的能力非常有限，传输带宽的提升又让 ATM 的 QoS 特性优势越来越不明显。

ATM 的荣辱成败，任后人评说吧！



IP over SDH——驴唇对上了马嘴？！

我们知道，IP 是一种不定包长的、突发性强的技术；而 SDH 则是固定帧格式的传送模式。SDH 的稳定性、安全性让 IP 技术觊觎已久。不断创新的通信技术让 IP 享受到了 SDH 的承载水平。目前常用的有以下几种方式：IP over ATM over SDH、IP/PPP/HDLC/SDH、IP /LAPS/SDH、GFP 封装方式。在通信界，这几种技术经历过若干次争论，尤其是对于 IP 与 SDH 之间要不

[1] B-ISDN，宽带综合业务数字网，是理想的以 ATM 为技术核心的宽带多媒体网络。随着 ATM 技术的下滑，它已经逐渐从人们的视野中消失了。



要加入 ATM 层的问题一直争论不休。最终，ATM 技术衰落了，IP 直接通过 LAPS、PPP/HDLC 或者 GFP 方式映射到 SDH 的帧结构之中。这个结果，曾经让当年的很多数据通信专家大跌眼镜！这简直是驴唇不对马嘴么！可实际情况是，驴唇不但对上了马嘴，而且还“对”得还很不错呢！

假设一个工厂生产了大量货物，每个月的生产量不固定，有一定突发性，如何规划其物流，这是管理学上的课题。目前采用的都是大小相等的轮船运输，其稳定性好、价格低廉，那么就有很多方式可以采用。

1. 第 1 种方式：IP over ATM over SDH

将这堆货物拆成若干等份，然后装到轮船上运送出去。这种方式对生产量突发性非常强的工厂来说是比较适用，对于急件可以保证其先运输出来，对于时间要求不严的货物，可以晚些运送。IP over ATM over SDH 就是采用这种方式。

IP over ATM 可以充分利用 ATM 速度快、容量大、多业务支持能力强，以及 IP 简单、灵活、易扩充和统一性强的优点，然而其网络体系复杂、传输效率低、开销损失大（25%～30%），而且 ATM 设备比较昂贵，因此无法满足 IP 业务发展的要求。

2. 第 2 种方式：IP over PPP over HDLC over SDH

将货物分堆摆放，每堆分别装入通用容器（PPP 和 HDLC），然后装船。通用的容器存放货物，稍显麻烦，有一定开销，效率中等。

PPP/HDLC 是 IETF 定义的 IP over SDH 链路层映射协议，它是将 IP 数据包通过 PPP 进行分组，并使用 HDLC 协议对 PPP 分组进行封装，构成一个个 HDLC 的帧，最后将其映射到 SDH 的虚容器中。这种方式开销损失少，比 IP voer ATM 的方式在效率方面有所提高。这种方式的具体应用就是路由器上的 POS 端口[2]。

3. 第 3 种方式：IP over LAPS over SDH

将货物分堆摆放，每堆分别装入专用容器 LAPS 中，然后装船。专用的容器更加适合货物存放，因此效率较高。

SDH 上的链路接入规程（LAPS，Link Access Procedure SDH）是我国武汉邮科院提出并被 ITU-T 采纳的标准。LAPS 与 PPP/HDLC 类似，但它是把以太网的 MAC 帧直接封装到 LAPS 帧的数据区，比 PPP/HDLC 操作简单，因而效率提高。这种方式的具体体现是 MSTP 中的以太网传送，有时候称为 EOS（Ethernet over SDH）。

4. 第 4 种方式：GFP

显然现有的各种 IP over SDH 都具有各自无法克服的缺点，然而新的 SDH 技术中，各种业务都可以通过一种叫做 GFP 的技术进行封装后在 SDH 上传输，使用 GFP 一方面可以克服 ATM 开销大的缺点，同时它还能避免 LAPS、PPP/HDLC 等采用帧标志定位带来的一系列缺点；另一方面它又能提供各种数据接口，使 SDH 能承载各种业务。

[2] 注意，这里的 POS 不是 POS 机，而是 Packet over SDH 的简称。



语音数据的“杂交”技术　　MSTP

语音通信发展了 100 多年，而数据通信满打满算也就几十年时间。这种时间上的不平衡性，造成在电信业不同的发展阶段产生的技术体制都有明显的“倾向性”。比如 SDH，从设计之初到开始大规模部署，都是用以传送语音的。随着数据网的发展，它被用来传送数据业务，简直就是“大姑娘上轿，头一回”，我们可爱的、忠实的、稳重的 SDH 有点晕，数据业务突发明显，怎么能像传送语音业务那样稳妥呢？有设备制造商想到一个方法，在 SDH 设备上增加 IP 板卡，并进行一定技术优化，最终形成了一个新的传输网门类——多业务传送平台（MSTP，Multi-Services Transport Platform）。看到这里，有些读者估计不乐意了。老杨啊，ISDN 是综合业务，ATM 是多业务，咋又出来一个 MSTP，也叫“多业务”呢？

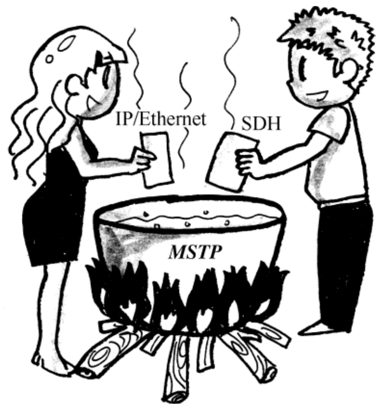


图 10-11　MSTP 是 SDH 和 IP/Ethernet 合二为一的技术

不同发展阶段对“多业务”的理解不完全相同。说 MSTP 是“多业务传送平台”，首先定义了它作为传送网的范畴，接着描述了它可以传送多种业务，比如 TDM，比如 IP（如图 10-11 所示）。从前面的描述中可以知道，TDM 可以传送语音、视频、数据业务，而我们也知道，everything over IP，那么我们就理解了，MSTP 为什么叫做“多业务”了吧？

SDH 这个大姑娘，坐上轿子就下不来了！专家们不但要求它提供 E1、STM-1 等同步序列信号，还要求它提供 10/100/1 000M 的以太网接口，并且还要充分考虑以太网信号的突发性需求！坐上了轿子的 SDH，有了一个新的名称，那就是 MSTP。MSTP 是以 SDH 技术为基础，吸取 SDH 安全、可靠的优点，既能提供传统的 TDM 语音链路，也能提供日益增长的突发性强的数据和视频链路。MSTP 并不关心其上传送什么样的具体业务，哪怕灯红酒绿，它依然恪守职责，一丝不苟。

还要对“多业务”再多啰嗦两句。通信网通俗意义上所指的带有“多业务”特征的技术体制，应具有以下特征：

- 支持丰富的业务端口，而不仅仅是支持 IP 端口或者 TDM 端口；
- 提供的交换、交叉连接带宽丰富，能够支持各种大带宽业务；
- 对每种业务类型都有所贡献，而不仅仅提供透明的传送通道；否则，几乎所有的网络形态都可以称为“多业务网”，那么也就无所谓“多业务网”了；
- 对每种业务的 QoS 差异有所考虑，对带宽的利用率提高有所贡献。

客观地说，MSTP 只能勉强算做“多业务”网，其组网应用如图 10-12 所示。

MSTP 的原理，其实就是把以太网的帧“塞入”SDH 的容器里，传输过程没有做任何改



变，只是端到端的以太网线路隐藏在了 SDH 中。MSTP 可以提供的接口是 10/100/1 000M，但是实际速率一般是 $N\times$2Mbit/s，N 的具体数值是可以根据需求做调整的。从这里可以看出，MSTP 承载的 IP 业务，带宽是“有级变速”的，这一点和 ATM 完全不同。MSTP 的可贵之处就在于可以继续使用 SDH 的倒换功能，保证线路的稳定性。正是因为这个原因，MSTP 被称为“电信级城域以太网”技术。

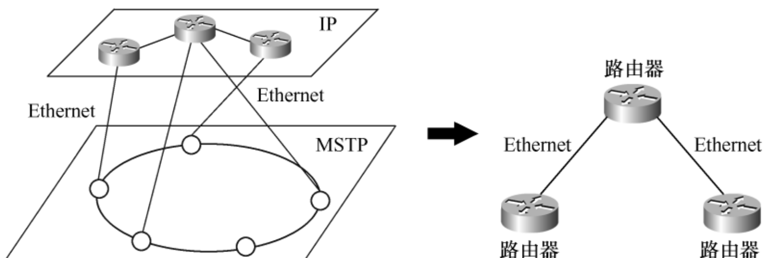


图 10-12　MSTP 的组网应用

应该说，MSTP 传承了 SDH 所有的优点，其核心还是 SDH。MSTP 并不是革命性技术，只能说是一定程度上的“杂交”技术。在相当长一段时间，MSTP 成为城域传输网采用的主流技术。采用 MSTP，只需在原有设备 SDH 上增加板卡、升级软件即可，投资规模不大。这种模式在数据业务发展初始阶段，的确给人耳目一新的感觉。



光纤进入千家万户的希望之星——无源光网络

无源光网络（PON，Passive Optical Network），它的最大特点不是“胖”，而是其中的关键部件——光分支器不需要电源。说具体点，在这个设备向终端分发信号的时候，有一个光分支点，光分支点只需安装一个无源的光分支器即可（小时候玩过三棱镜的读者对此一定不会太陌生）。

最初的 PON 包括基于 ATM 的 PON（APON）和基于以太网的 PON（EPON）——这里，我们又遇到了 ATM 和 IP 技术的碰撞！APON 和 EPON 具有很多 PON 的共同优点，他们的竞争在本质上是核心网中的 ATM 和 IP 之争在接入网中的继续，其结果可想而知!EPON 是 IEEE 802.3ah 工作组制定的标准，在它刚刚获得胜利的同时，ITU-T 又提出了 GPON（千兆以太网无源光网络）的标准，它可以灵活地提供多种对称和非对称上下行速率，传输距离至少达 60km。图 10-13 所示的，就是 PON 的拓扑图。

EPON 和 GPON 有如下很多共同的特点。

- **高接入带宽**：GPON 下行速率高达 2.5Gbit/s，上行速率也可达 1.25Gbit/s，EPON 采用上下行各 1.25Gbit/s 的速率。这两者的速率都不低。
- **节省光纤资源**：都采用点到多点的树状广播形网络拓扑结构，如图 10-13 所示，从局端的一芯光纤，最后可以分支到 32/64 个终端 ONU 设备，极大节省了馈线段的光

纤资源，特别是对于地域广阔的地区，或者原有光纤资源有限的运营商，采用 PON 技术组网可以大大提高光纤资源的使用效率。

- **设备运维和管理成本低：**PON 光纤接入技术，只有局端（OLT）和用户侧设备（ONU）为有源设备，其中间的光分布网络采用稳定性高、体积小巧、成本低的无源光分支器，无需提供电源、空调等机房设备，也不占用机房空间，只需安装在光交接箱或光缆配线架的适当位置即可，易于维护。

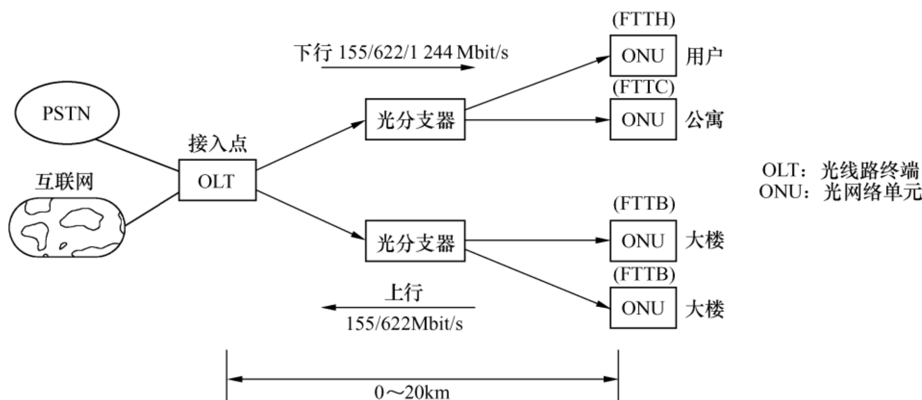


图 10-13　PON 的原理拓扑图

“性格决定命运，特性决定应用”，PON 的特点决定了其应用场景的宽泛性和组网方式的灵活性。比如“PON+DSL”方案，它将 DSLAM 尽量靠近用户，克服 xDSL 接入距离和带宽的限制——前文说过，DSL 技术的传送距离对带宽影响很大，如果大部分铜线被光纤代替，这种影响就能尽可能减小！这种方案保护已有铜线投资，实现从铜线到 FTTH 的过渡，是当前 PON 应用和发展的主要方向。

相对 EPON 技术，GPON 更注重对多业务的支持能力（TDM、IP、CATV），上连业务接口及下连用户接口更为丰富，比如它支持 10GE 以太网接口、GE 以太网接口、FE 快速以太网接口、STM-1、E1、模拟电话接口等，可提供 FTTH、FTTB、FTTO、FTTC+LAN（DSLAM）的多种接入方式（如图 10-14 所示，FTTC 和 FTTH 的区别），同时 GPON 能够支持传统 TDM E1 业务，可提供移动基站互连、PBX 接入以及大客户 E1 专线接入，同时能够提供时钟同步以及电信级 QoS 保证，从而保证电信运营商在采用新的宽带接入技术的同时不放弃原有租线业务。而 EPON 对传统租线业务的支持能力非常有限。

按道理说，GPON 应该有更广泛的应用，但受制于历史的发展和个别人为因素，当前 EPON 技术相对完善，芯片设计难度也较低，产业链比 GPON 成熟。从应用场景看，EPON 更适合部署中小规模 FTTx，如个人用户和小型写字楼；而 GPON 则更适合于部署大规模 FTTx，如对技术要求高的企业用户、大的园区等。我国的电信运营商都普遍重视 PON 的发展，目前正从宽带点到点以太网光纤系统和 EPON 开始，逐步过渡到 GPON 阶段。



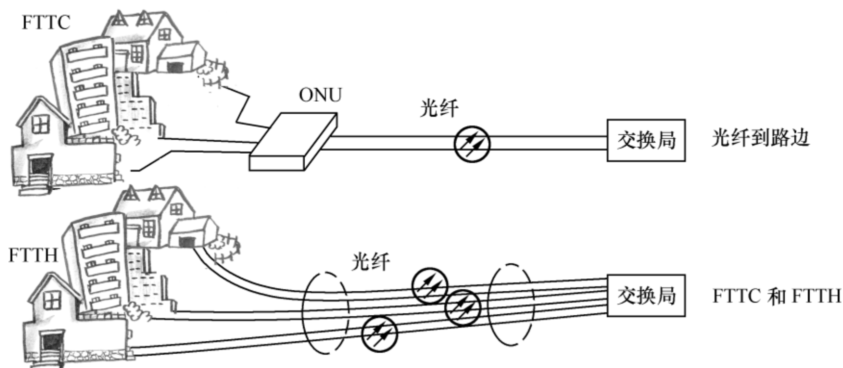


图 10-14　FTTC 和 FTTH 的区别

光纤是个好东西，但并不是只有传统的电信网才有光纤，有线电视网也有光纤！那么怎么利用这些有线电视网的光纤传输资源，为数据网提供服务呢？接下来的一节给各位读者做介绍。



用电视网传送数据——CATV 的双向改造和数据应用

CATV（Cable TV），就是我们常说的有线电视网。电视网和数据网能扯上关系吗？当然能！当今的 CATV 是由光纤和同轴电缆混合而成的网络，它通达千家万户，如果能把它利用起来传送数据，再好也不过了！但是我们都知道，CATV 从应用模式上，是单向广播式的传输，而数据网络则需要双向传送。要采用 CATV 网传送数据信息，就得考虑如何把单向广播方式调整为双向传递方式。

注意，与 CATV 有关的一些术语在通信界历来不太统一。从惯例上说，有线电视网上提供的数据业务，是基于一种叫做 HFC 的技术做支撑的。但 HFC 不就是光纤—同轴混合网吗？它和 CATV 有什么区别呢？问题就在这里，业界更喜欢把经过双向改造的 CATV 网称为“HFC”，而未经过双向改造的称为“CATV”。下文老杨提到 HFC，都是指双向改造后的 HFC，如图 10-15 所示。

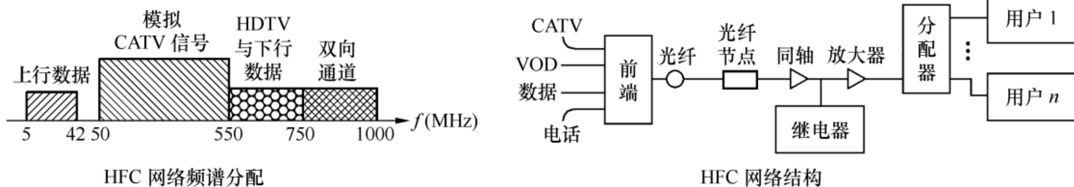


图 10-15　HFC 的网络频谱分配和 HFC 的网络结构

CATV 的双向改造，本质上是对其光纤和同轴电缆两部分分别进行从单向传输到双向传输的改造过程。从前端到光纤节点这一段光纤通道，可采用 WDM 方式。从光节点到住户这段同轴电缆通道，一般采用 FDM。

有线电视分配接入网双向化改造后，应用 Cable Modem（简称 CM）来进行传输。这是放在住户家里的、安装在 Cable（同轴电缆）末端的一个小盒子。这个小盒子利用原有 HFC 网络，不需要重新铺线，改造工程量小，容易安装，可以进行远程管理，其技术标准和产品成熟。目前主流标准是 DOCSIS 2.0。CM 产品大规模生产，其价格早已适于大规模推广应用。Cable Modem 技术可实现长距离传输，适合在居住比较分散的郊区推广。

有线电视网络双向化改造中，应用较为广泛的是 LAN 技术。最初将采用 FTTC 和 FTTB+LAN 方式。随着 PON 技术的快速发展，利用有线电视网的光纤实现 EPON＋LAN 成为一种不错的方案，但是 LAN 需要重新铺设线路，其应用受到很大的限制，在大多数应用条件下，EPON+LAN 方案还是需要解决入户线路问题，并且它没有统一的技术标准，难成规模，这给有线电视网络运营商选择双向改造的技术方案带来极大的困难。

但毕竟“光进铜退”是网络发展的必然趋势，随着用户对带宽的需求不断增加，有线电视网中的大量宝贵传输资源，将逐渐被深度挖掘出来。



老杨有话说 —— 从数据通信到 IP 通信

日新月异的技术，让我们不断抛弃过去概念的同时，也不得不更加宽泛化地理解一些我们熟知的名词和术语。数据通信，就是个不断逐步发展和变化的术语，它只能代表一种大体的范围，我们不必对名称本身太较真儿，否则，就显得太被动、太僵化、太学院派。一切都可以转化为数据，无论信息开始是什么类型、什么形式。

在传送数据的网络上，分组化的大潮汹涌澎湃，以 TCP/IP 为核心的通信网占据了通信网越来越重要的位置！有一种趋势——谈数据通信就是谈 IP 通信。这是现实，你首先要接受。因为 IP 太强悍了，太“魅力十足”、太开放、太民主、太自由，以至于数据通信在实现其基本使命的同时，一直都在解决 IP 自身存在的诸多问题，如服务质量（QoS）、安全性、地址编号不足等诸多问题。由此可见，IP 通信是数据通信的重要分支，我们将用一章的篇幅讲述它。

下一章，让我们进入 IP 通信的世界。



第11章

Chapter 11

路由与交换

历史告诉我们，任何所谓“打开新的篇章”，总伴随着争斗，而TCP/IP是个天大的例外！TCP/IP虽然没有让全世界任何政体改朝换代，却在无意中改变了人类发展进程，并改变了我们的人生。21世纪刚刚开始，就有无数人意识到了一个通信发展的大趋势——Everything over IP，就像英国人发现瓦特发明的蒸汽机如果为工厂所用，效率将以百倍千倍的速度提高，美国人发现核的力量若应用于军事则能改变整个战局。今天，全球的人们已经意识到，TCP/IP如果无处不在，他们可以把相互之间的距离拉得超乎寻常的近！

如果把一张IP网当做一个城市交通网的话，那么本章要研究的是城市交通中城市主干线、次干线、交叉路口、交通标志、信号灯、人行横道等之间的关系，以及它们如何工作才能满足人们安全、快速、方便的出行需求。那么在IP网中是如何安全快速有序地将数据包送到目的地的呢？老杨首先介绍参与路由与交换的数据设备：HUB、IP交换机和路由器，然后告诉各位IP网是如何工作的。



IP网的钢筋混凝土——HUB、以太网交换机和路由器

如果说城市交通网的基本要素是道路、交叉路口和交通指示牌，那么构建IP网络最基本的材料则是线路和HUB、以太网交换机和路由器，线路属于传输网范畴，剩下的3类设备，则是IP网络的核心部件，是IP网的“节点”，如图11-1所示。

这3种设备的目的就是将真实数据从出发地发送到目的地。什么是“真实数据”呢？“真实数据”就是终端设备之间传送的、携带有效信息的数据。这3种设备并不是任何真实数据的出发地或者目的地（虽然ICMP[1]的包可以从某台路由器出发到另外一台交换机终止，但是ICMP并不是“真实数据”，而是系统专门定制的一种检测包），它们是“真实数据”的必经之路，而真正的出发地和目的地是各种IP的终端设备——计算机、网关[2]、网络传真机、网络打印机等。如果合理搭配这些网络设备，就能让真实的数据快速顺利地达到目的终端，并尽可

[1] 互联网报文控制协议，如PING、TRACERoute等命令都是属于该协议的范畴，后面几节会专门介绍。

[2] 这里所指的“网关”是所有非IP网络与IP网络的媒体、信令转换设备，如VoIP网关、视频转换设备等。

能节约资源和保证安全。如果你不想做一个“十指不沾泥，鳞鳞居大厦”的业外人士，那么就需要去了解外表光鲜的高大建筑物的内部，构建这个建筑物的原材料有多么精益求精，而研究这些原材料构成的科学体系是怎样严丝合缝！

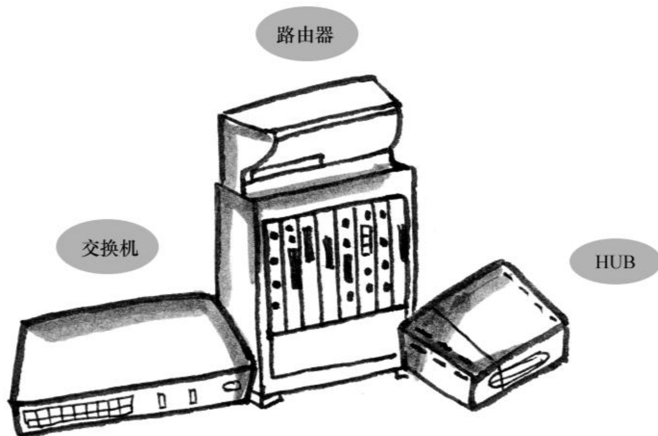


图 11-1　HUB、以太网交换机和路由器

1. HUB 和交换机

HUB 的外观很简单，一个方盒子（做成圆的也未尝不可），几个 RJ45 的接口、一排指示灯、一根电源线，仅此而已。但可别小看了它，HUB 是“共享式以太网”的核心设备。共享式以太网的每个接入终端都共享一根总线，谁要发言，就先去抢线，为了能发言，每个终端不得不学会“抢答”。以太网发展初期，都采用复杂的直线型连接，配有终结器，一旦某段线缆出了问题，整个局域网将都无法正常工作，就像乘坐公交车时大家都排队候车，并且先下后上，如果有一个人不守秩序非要车门一开就往上冲，那么结果肯定是该下车的下不来，该上车的也上不去了。

HUB 的工作原理是广播，一个数据包需要送达所有端口，这样不仅造成资源浪费，耽误时间，更要命的是往往会给网络带来可怕的“广播风暴”。于是，专家们引入了“交换式以太网”，其核心设备是以太网交换机，它可以使多组通信同时进行。图 11-2 所示的共享式和交换式的区别。交换式以太网的交换机保存着每个终端的 MAC 地址对应表，可以直接传送数据，无须广播到所有端口，从而保证以太网风平浪静。以太网交换机分为二层交换机和三层交换机。二层交换机工作在 TCP/IP 架构的第 2 层——数据链路层，就是以太网层；而三层交换机则可以工作在第 2 层和第 3 层（协议层，即 IP 层）。二层交换机不处理任何路由功能，与之连接的每个终端都在同一个 IP 地址段中。三层交换机则带有路由功能。根据设置的不同，与之连接的每个终端可能在同一个 IP 地址段中，也可能不在一个地址段中。

有了 HUB 和交换机，以太网的线缆也发生了革命——非屏蔽双绞线开始应用在星形局域



网中，于是它就成了我们平时所说的“网线”。RJ45 接口代替了过去被称为 AUI 的接口而成为计算机和 HUB 或以太网交换机的标准接口。HUB 或以太网的应用使某条电缆或某个设备的故障不至于造成整个网络的设备都遭受残酷的“连坐”——规避了一段出问题，全网崩溃的尴尬局面！这才使得以太网在物理通道上真正“稳定”下来。

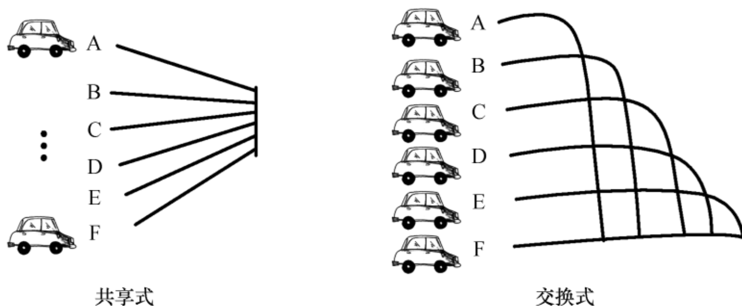


图 11-2　共享式和交换式

绝大多数的企业办公局域网目前都采用以太网交换机而不是 HUB。采用 HUB 会被人认为是“老土”。特别是 VLAN 技术的广泛应用，使交换式以太网比共享介质以太网有明显的性能优势，使用者会感受到更快的沟通速度；并且更让人振奋的是，二者当前价格已经非常接近，因此采用以太网交换机的性价比肯定更高。

2. 路由器

最为有效的工具似乎才称为“器”，古人祭祀用“祭器”，打仗用“武器”，喝酒用“容器”，封建社会代替奴隶社会，因为耕地用上了“铁器”，替代了“石器”或者“青铜器”；而搭建 IP 网络，则要用“路由器”。当前，那些“器”已经有几十万甚至上百万年的历史，而路由器则只有几十年，是典型的“大器晚成”。

路由器一般都会带有多种接口，就像交叉路口是由多种类型的道路汇聚形成一样。常见的接口类型有通用串行接口（Serial Port），E1/T1、POS、ATM、E3/T3、POS、ISDN 接口、10/100/1 000M 以太网接口（电接口或者光接口）、FDDI、令牌环接口，等等，就像汇合到某个交叉路口的道路可能是单行道、双向 2 车道、3 车道、4 车道，也有可能是自行车道、步行街，等等。路由器根据接口数量、转发性能以及在网络中的布放位置，大体分为核心、汇聚、接入 3 种类型。当然，过去的核心路由器，随着 IP 网络的不断发展，有可能退居汇聚层或者接入层，当然也有很多已经被先进的技术淘汰而停产了。

一般来说，“交叉路口”的性能就是指其能同时通过车辆的最大能力，路由器的设计要求很高，忽略任何一个环节都可能影响其处理能力，就像道路的设计者绝不能因为自己修建的道路采用最高级的柏油就说这条道路能承载 10 辆车并排行驶！因此要宏观地考察路由器的综合性能，就需要设定宏观的参考指标，比如整机设备的 IP 数据包转发能力——路由器的“吞吐量”，就属于重要指标之一。路由器的工作就是根据 IP 数据包头或者 MPLS 标记选路转发，所以性能指标是每秒转发包的数量（颇似交叉路口的单位时间汽车通过量）。设备吞吐量通常

小于路由器所有接口吞吐量的总和。有一个常用的参数单位来表示吞吐量——pps（Packet per Second），也就是每秒可转发包的最大数量。

有时候我们说，路由器具有“全双工线速转发能力”，就是指这种状况：假设传送最小包长（以太网 64 字节，POS 接口 40 字节），并且是最小包间隔的情况下，路由器接口上双向传送不引起丢包。这就像汽车企业承诺的最小油耗，是在特定场合（比如时速均匀保持 90km/h 情况下）的油耗，而实际网络中要达到这种状况是非常之难！

而对路由器每个接口，也有一个吞吐量的概念。它是指接口包转发能力，也以 pps 为单位，它是路由器在某接口上的包转发能力。如图 11-3 所示。

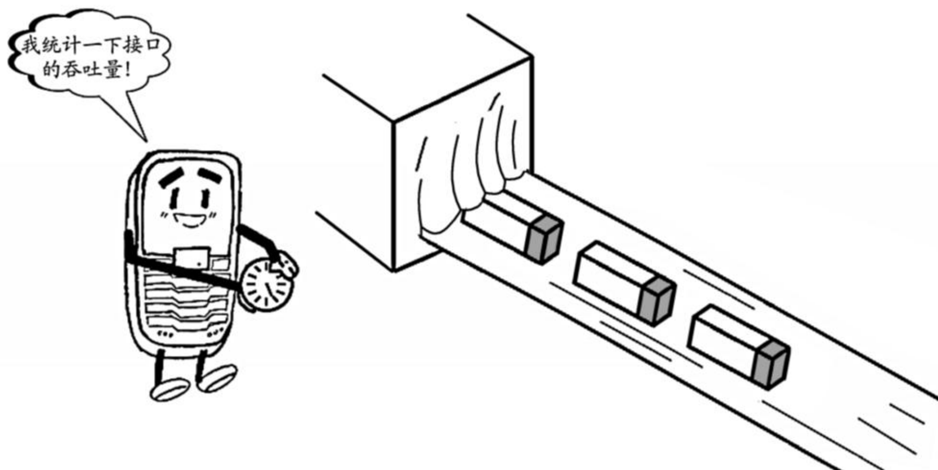


图 11-3　接口的吞吐量统计示例

路由器工作在 IP 网络层，它实现子网之间的数据转发。路由器类似于城市交通网中的交叉路口。在后面讲到 IP 网路由的时候，老杨会经常把路由器与交叉路口做类比。而 IP 网上的数据包，则可以形象地类比为来来往往的汽车。讨论路由器，就是讨论第 3 层网络的内容，这时候请暂时忘记第 2 层封装，ISO/OSI 告诉我们——“各司其职，各领风骚”！

路由器的工作就是存储和转发，它内部可分为控制平面部分和数据通道部分。

在控制平面的核心是路由表以及路由协议，路由器转发数据包的依据是路由表。

我们知道，在交叉路口上都有非常明确的交通指示牌或者交通标示，如图 11-4 所示：到王府井大街请直行，到前门大街请右转，到故宫请左转……司机根据交通指示牌的提示很容易就能知道应该直行或者左右转，并驶入相应的车道，再根据红绿灯的控制通过该交叉路口。路由器中的路由表就和交通指示牌的内容类似，路由表有目的网段和子网掩码、到达该目的地地址的本路由器的出端口、下一跳路由器入口 IP 地址等信息，路由器可以根据路由表为数据包选择相应的出端口。当然，如果路由器在路由表中找不到某个数据包的路由信息，那么路由器就会把这个数据包丢掉。



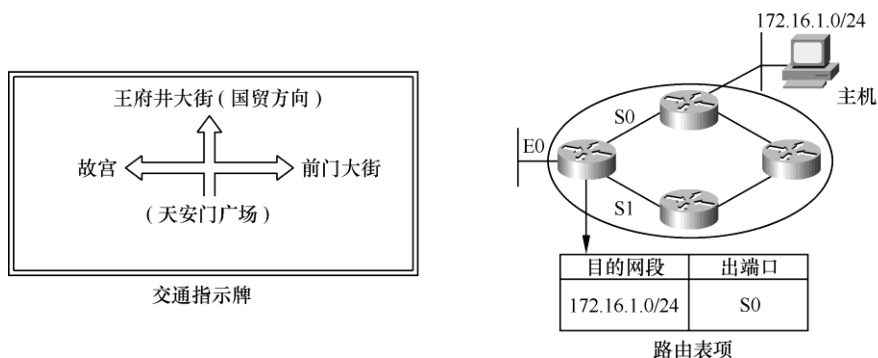


图 11-4　交通指示牌和路由表

路由器的数据通道部分相对简单，就是从输入线路接收数据后，分析与修改包头，查找输出端口，把数据交换到输出线路上。只要有了路由表，路由器的这部分工作就很简单，但是可别因此认为路由器对每个数据包都要检查路由表来找出口！检查路由表都是用 CPU 处理的，那样多慢呀，路由器才不会那么傻呢！现在的路由器都是根据转发表来转发数据的，而转发表又是根据路由表生成的，其表项和路由表项有直接对应关系，但转发表的格式和路由表的格式不同，它更适合实现快速查找。路由和转发的关系有点像交叉路口和立交桥的关系（如图 11-5 所示），在不认路的情况下，还是老老实实走辅路，根据交叉路口的指示牌选择直行或者转弯，在熟悉的道路上，只要这个路口还不是目的地，就从立交桥上直接快速通过。不同的路由器根据不同的厂家和不同的型号，所用的转发机制各不相同，这里就不一一介绍了。

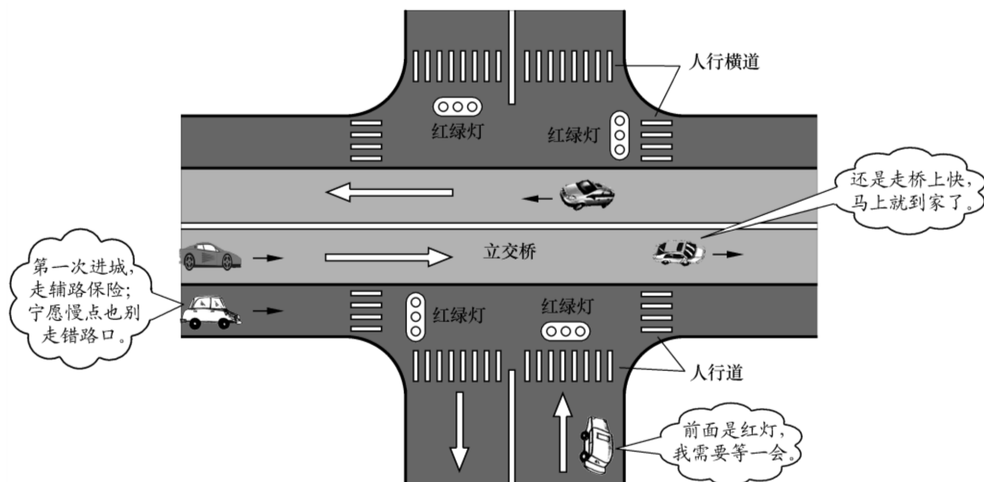


图 11-5　路由和转发就像交叉路口和立交桥

实际上路由器和交换机才是互联网真正的钢筋混凝土，而 HUB 顶多属于“边角料”的角

色。路由器和交换机加上连接它们的线路，就构成了 IP 网络的基础。全球的 IP 网络连接在一起，加上各种服务器、PC 以及浩如烟海的信息内容，这就是人们常说的“互联网”了。



路由的发现——路由协议

前文讲过，路由器如果没有这些路由表就无法转发数据包，IP 数据包就会像无头的苍蝇，不知道该到哪里去。那么路由协议是如何生成路由表的呢？方法不外乎人工设置或者自动获取，即静态路由协议和动态路由协议。但是 IP 网络的地址规划和 PSTN 不同，任何一个 IP 地址在哪个位置，都有很大的不确定因素——IP 地址的分配并不像电话号码的分配那样，每个国家、每个地区都有自己的前缀（国家代码和区号）。

因此，IP 专家设计的路由表获取方式，是一种混合方式，通过人工设定确定一部分，通过路由协议获取一部分，由这两部分合成完整的路由表。很多初学者在学习了大量技术细节后，仍然对“路由协议”本身存在理解上的偏差，这里老杨需要向各位读者明确：路由协议是为了满足路由器获取路由表的需要而制定的标准化协议。通过一系列路由协议，让 IP 网的所有路由器快速、准确地获取全网路由信息从而指引 IP 数据包的方向。也就是说，路由协议只负责获取路由表，而 IP 数据包进入路由器后向何处去以及如何去，则是路由器的路由查询和数据转发功能所负责的工作。

我们来具体看看这两种路由获取方式。

- 第一部分，人工指定路由，就是我们常说的“静态路由”。静态路由中，一类是由于明确知道某个 IP 地址段的精确方向，而由人工设定该路由表项；另外一类则称为“缺省路由”，就是向路由表中没有明确标识方向的所有数据包提供一个统一的默认的出口；缺省路由非常重要，使用好了可以简化路由表，使用不当可能导致路由循环。
- 另外一部分是动态路由，采用动态路由协议获取路由信息。常用的动态路由协议有 RIP2、OSPF、IS-IS、EIGRP、IGRP、BGP 等。如果没有这一系列的动态路由协议，那么 IP 网上的用户接入方式就不会如此方便灵活，IP 网的维护管理工作也要比现在复杂多了！

静态路由协议就像交叉路口上的交通指示牌，是人工一条一条写好后放上去的，这种方式比较直接，但如果路由信息有变化，就要人工更改，而且网络大了，路由数目也就会增加，假如还在每台路由器上一条一条的写，要写到什么时候啊？别着急！动态路由协议已经解决了这个问题！在城市交通中，司机在开车时不仅要会看交通指示牌或地图，更重要的是要注意观看路上的动态电子液晶指示牌或者认真收听交通广播台的实时路况信息！这些实时路况信息会告诉我们比那些静态的交通指示牌或地图更及时更准确的信息，——哪里开始交通管制了，哪里有故障车了，哪条高速又封路了，如图 11-6 所示，这些信息对司机来说非常重要，因此必需及时传递到位！正是这个原因，这些信息往往通过动态电子液晶指示牌和交通广播来告诉大家，当然这些信息都是通过某种方式（摄像实时监控、信息员报告、交通局公告等）获取的。



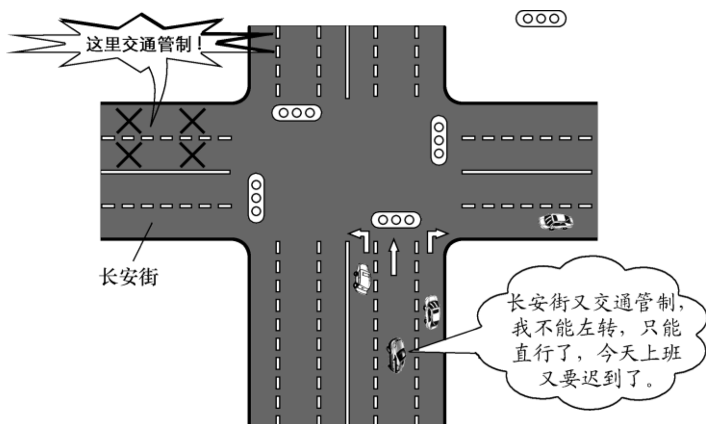


图 11-6　实时路况信息的例子

IP 网络也和城市交通网一样，经常会有网络中继链路的中断或增减、路由节点的增减、链路带宽的扩容、新用户的接入等网络变化，这时候，动态路由协议能够在一定范围内很快通知所有运行相同路由协议的相关路由器进行路由表的更新！不同的路由协议对“一定范围”有不同的定义：OSPF 中的同一个 area 就是一个范围，IS-IS 中同一个 Level 就是一个范围。**注意，是一定范围内的所有路由器，非整个网络上的所有路由器，否则任何一个微小的网络变化就会造成全球的互联网路由器发生路由更新，那将是灾难性的！**任何网络的调整，都要保证整个 IP 网络最大程度地不受影响。要知道，网络的上述变化，每天、每小时、每分钟可能都在发生！

聪明的读者现在已经了解动态路由协议是怎么回事了吧？老杨在堵车的时候经常会替交管局考虑如何管理城市交通的“大事”，也会经常拿 IP 网作比较。这两者确实有些相似的地方。但是不同的是，IP 网负责选路和转发功能的都是路由器，而城市交通中负责选路的是司机，负责转发的是交叉路口。稍后我们将对几个主流路由协议进行描述，说说各种动态路由协议是如何有条不紊地工作的。

在讲述枯燥的协议之前，读者一起分享一下老杨的感受，其实大多数网络都有相似和不同之处，我们应该经常换位思考，多学习和了解并且相互借鉴，同时也要多和不同行业的人沟通，使自己不断进步，这里也希望其他行业的专业人士多学习和研究通信网的知识，说不定能成为对通信做出巨大贡献的专家呢！

我们知道，从王府井到鸟巢之间有很多条路（如图 11-7 所示），网络上任何两台服务器之间的路径，也很可能不止一条，那么用什么方法来选择“最佳路径”呢？对于道路来说，最宽阔、最平坦、最短、最不拥挤、管理最完善、不收或者少收过路费的道路是最佳路径。而在路由协议中，也有对路径的评价指标，比如路由跳数、路由成本等，都是寻找最佳路由的计量依据。

不同的路由协议对“路由成本”定义不完全相同，它们都会定义自认为合理的“成本”：OSPF 为 10^8 除以端口配置带宽，IS-IS 则为所有的端口都默认分配一个值为 10 的路由成本……我们不用记忆这些成本算法，只要了解每种路由协议都有一套规则，来衡量任何两个

节点间的链路的可通过程度，就不妨碍对路由协议的了解了。路由器是绝对诚实的机器，它只会选择成本低的链路，不会选择成本高的链路，如果两条成本一样高，就都选——这就是“负载均衡”的基础。但这种忠诚有时会显得过于呆板，比如成本低的链路由于某些原因出现拥塞，路由器却始终对那条成本高的链路“视而不见”，哪怕这条链路正处于空闲状态。当然这不是路由器的错，而是网络规划很可能出了问题。在城市交通网中，有时也会遇到这种情况：交叉路口的一个方向根本没有车辆却依然长时间绿灯，而另一方向的车辆已经排起了长队，你不能说是红绿灯的错，只能是红绿灯的设置时长可能不符合该交叉路口的情况罢了。不过大家放心，专家们早已意识到这个问题了，MPLS 给出了解决这一问题的方案——流量工程。

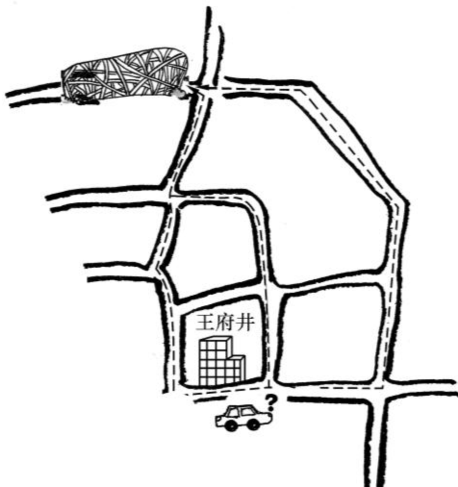


图 11-7　从王府井到鸟巢的路线图

接下来的部分，我们将描述几种常用的动态路由协议。路由协议可以分为内部路由协议和外部路由协议，RIP/RIP2、OSPF 和 IS-IS 都属于内部路由协议，BGP 是唯一的外部路由协议。

掌握知识的价值远远不如掌握方法的价值，因此老杨还是请各位谨记：记忆“是什么”的目的是为了了解“为什么”，只有当你知道“为什么”，才能在未来的学习中有更强的领悟能力，否则在现实中排解问题会遇到很大困难。

1. RIP2 和 RIPng：距离向量协议

最简单的动态路由协议就是 RIP，它被称为“距离向量协议”，目前我们使用其升级版 RIP2。RIP 的路径成本算法比较简单。

在 RIP 中，路由器每隔 30 秒钟就将所谓的“距离向量”信息发送到相邻路由器，路由表只存储到目的地站点的最佳路径的下一跳地址。RIP 允许最大跳数为 15 跳（Hop，就是通过的网络节点数），超过 15 跳被认为是不可达的。新的基于 IPv6 的 RIP 协议 RIPng，在信息格式和地址方面比 RIP2 有所加强。

2. OSPF：开放最短路径优先

开放最短路径优先（OSPF，Open Shortest Path First）是一种典型的“内部网关协议”。

OSPF 采用的算法被称为 SPF（最短路径优先）算法，有时候也以它的发明者 Dijkstra 命名——“Dijkstra 算法”。这种算法，把每一台路由器都作为“根（Root）”来计算其到每一个目的地路由器的距离，每一台路由器根据一个统一的数据库计算出网络的拓扑结构图，这个结构图类似于一棵树，这就是著名的“最短路径树”。在 OSPF 路由协议中，最短路径树的树干长度，即 OSPF 路由器至每一个目的地路由器的距离，就是我们上面提到的“路由成本”。

有了 SPF 算法，我们就来看看 OSFP 的工作步骤吧！OSPF 是一种“链路状态的路由协议”，



其运行一般分为 3 个步骤，我们以路由器 A 为例，假设它已经做好了相关的物理连接、路由协议、IP 地址的配置，让我们看看它和它周围的路由器是如何协同工作的。

第 1 步：路由器进行初始化或网络结构发生变化（例如增减路由器，链路状态发生变化等）时，路由器会产生链路状态广播数据包（LSA，Link-State Advertisement），该数据包里包含路由器上所有相连链路的信息——其实也是所有端口的状态信息。路由器 A 开始工作，它首先看看自己所有的端口所在的网段，并把这些信息存放到 LSA 数据包中。

第 2 步，所有路由器会通过刷新（Flooding）的方法来交换链路状态数据。Flooding 是指路由器将其 LSA 数据包传送给所有与其相邻的 OSPF 路由器，相邻路由器根据其接收到的链路状态信息更新自己的数据库，并将该链路状态信息转送给与其相邻的路由器，直至全网稳定的一个过程。这个过程还要防止形成路由信息的循环，就是张三告知李四了，李四又把张三的信息告知张三，常识告诉我们，这是没有必要的，并且会造成死循环！路由器 A 把 LSA 数据包传送给所有与其直接相连的路由器——B 和 C，当然，B 也会把自己的 LSA 数据包传递给与其直接相连的路由器——A 和 C……所有路由器都会做相同的事情。

第 3 步，经过一番轰轰烈烈的传送 LSA 的过程，每个路由器都开始根据 SPF 算法计算到达所有网段的最短路径，并编写一条条路由表项。该路由表中包含路由器到每一个可到达目的地的成本以及到达该目的地所要转发的下一个路由器（next-hop）。到此，OSPF 路由协议可以说已“收敛”下来，如图 11-8 所示。

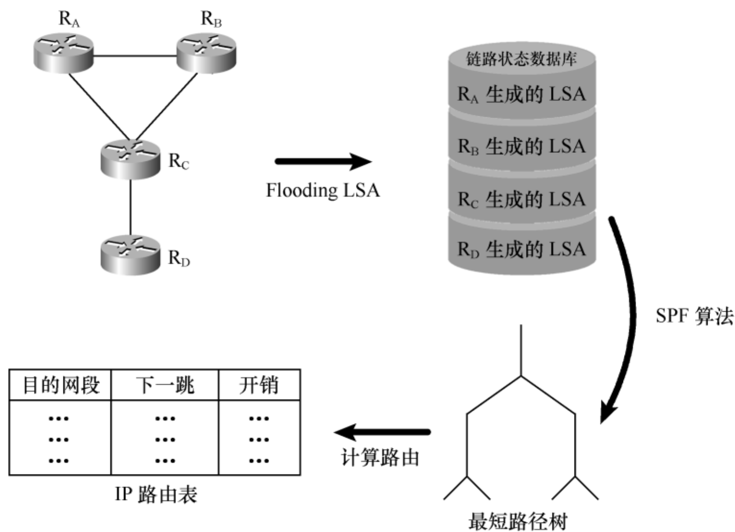


图 11-8　路由表的生成（以 OSPF 为例）

可以想象，当所有的路由器都经过上述步骤，获得了所有的路由表项，整个网络“趋于平稳”。当有 IP 数据包从任何路由器进入网络，根据其目的地地址，寻找正确的路由表项，就可以进行转发了。



当网络状态比较稳定时，网络中传递的链路状态信息是较少的，或者可以说，当网络稳定时，网络中是比较安静的。这也正是链路状态路由协议区别于距离矢量路由协议的一大特点。

目前电信运营商已经普遍采用 IS-IS，一些企业专网依然采用 OSPF。这并不妨碍 OSPF 作为最经典的内部路由协议之一，值得我们认真研究。

3. IS–IS：中间系统互连协议

在 ISO 规范中，一个路由器就是一个中间系统（IS，Interactive System），一个主机就是一个末端系统（ES，End System）。提供 IS 和 ES（路由器和主机）之间通信的协议，就是 ES-IS；提供 IS 和 IS（路由器和路由器）之间通信的协议（也就是路由协议），叫 IS-IS（就是“是，是”的英文）。

与 OSPF 一样，IS-IS 也维护一个链路状态数据库，并使用 SPF 算法得出最佳路径，采用 Hello 报文来查找和维护邻居关系。但是 IS-IS 使用“区域”来维护一个“等级”的概念，在区域之间都可以使用路由汇总来减少路由器的负担，并具有认证功能。

IS-IS 是目前应用最广泛的内部网关路由协议，中国联通的 AS4837 网、AS9929 网、中国电信的 AS4134 网等，都采用 IS-IS 协议。内部路由协议就介绍到这里，在学习外部路由协议之前，我们有必要先认识一下什么是“自治域”。

4. 自治域（AS）：我的地盘我做主

什么是自治域？可别以为和新疆、西藏、宁夏这样的自治区有什么关系哦！在 IP 网络中，一个自治域是拥有同一选路策略、在同一技术管理部门下运行的一组路由器。自治域是工作在一起以提供内部选路的路由器的汇集。在外部世界看来，整个 AS 是一个“单一实体”。

通俗地理解，电信运营商、二级运营商、ISP、行业企业等机构因为某一类或者几类需求而建立的一张具有独立网络调控能力、统一管理机构、统一路由策略的 IP 网络，被称为“自治域”，简称 AS。如承担家庭和企业用户接入互联网的 163、169 网络，专门用于承载 NGN 业务的 IP 网、某行业企业的专用 IP 网，等等。国内的电信运营商受到多次拆分和重组的影响，一般都拥有一到多个自治域，小规模企业一般都隶属于其接入运营商的自治域，大企业或者行业有可能有自己的自治域。自治域一般有一个编号，比如 AS701、AS1239、AS9929、AS4837、AS4134 等。

5. BGP：边界网关协议

老杨经常把一个 AS 比喻成一个国家。全世界有很多国家（多个 AS），每个国家（AS）都有自己统一的法律、文字（管理规范和路由策略），也有自己的国民（路由器、网段等）。

整个互联网是由多个组织、多个团体各自的网络“相互连接”而成的，每个网络由不同的组织建设、管理和维护，这些网络内部可能采用不同的路由协议或者管理策略，如何让整个互联网中任何两个不同 AS 网内的主机找到对方呢？这个问题由外部路由协议 BGP 来解决！

就像英语被定为世界上的“通用语言”一样，不同的 AS 之间要想互通也要使用统一的“语言”，于是就出现了 BGP。边界网关协议（BGP，Border Gateway Protocol）是 Internet 的路由协议，是“外部协议”，这一点有别于 OSPF 和 IS-IS。

PSTN 中并没有 BGP 的概念，因为 PSTN 是统一管理的，任何一个国家、省份的电话号码，都有明确的前缀。而在互联网中的 IP 地址并不是这样的。同一个 AS 内的 IP 地址，前缀



千差万别，并不统一。因此，每个 AS 必须把自己内部的网络情况和 IP 地址分配告知其他 AS，以利于不同管理者的网络之间互相访问。如图 11-9 所示。

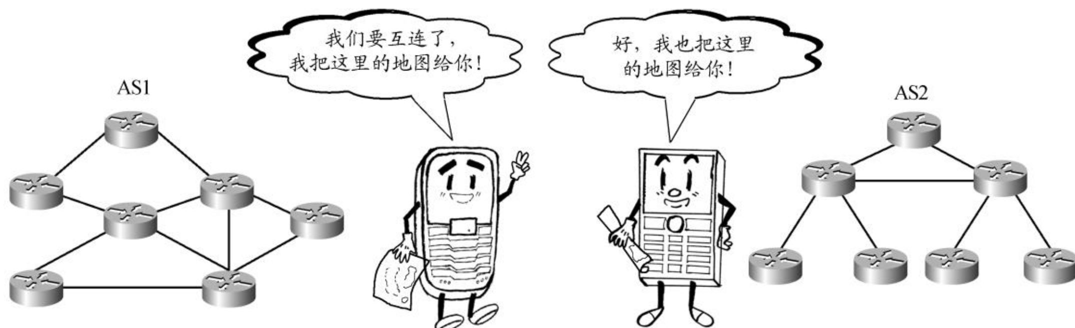


图 11-9　BGP 的原理

互联网上每个 AS 都通过 BGP 向其对等互联伙伴广播其网络信息。BGP 是一种“路径向量协议”，因为它所广播的是到达某一特定目的地所需的路径信息，而不像前面讲到的 OSPF 一样采用 LSA 广播路由器的直连网段。BGP 并不会告诉我们数据包是如何在自治域内传送的，也不会像 OSPF 那样知道整个网络的情况。BGP 也可以被称为 “距离向量协议”，因为除了几个不大的变化，其他都与距离向量协议类似。BGP 协议解决的，是在任何一个自治域都不清楚与其互连的自治域内部是怎么回事的情况下，通过何种方式（当然是在自治域之间传递最少信息的情况下），让任何一个自治域内的主机找到另外一个自治域内的主机。并且，BGP 并不是单纯负责“寻找路径”工作的，它还为电信运营商提供了一种优化网络、调整 IP 网络流量的方法。我们不妨用外交的例子来做类比。

BGP 拥有一些属性让它比别的路由协议多了一些路由控制手段，其实就是 AS 的管理手段，从这个意义上说，BGP 有点像外交中的一种原则或实施方法。在外交领域，有“和平共处五项原则”，而 BGP 不去干涉任何 AS 的“内政”，它提供各项原则和各种手段，协调两个对等的 AS 之间的关系。这些“手段”就是 BGP 的属性，老杨在这里只举例说明两种常用的属性。

- AS_PATH 属性，由 AS 路径段的序列组成，BGP 允许通过加长 BGP 路由表项中的 AS_PATH 属性来影响选路结果，从而达到管理者的某种目的。这个“手段”有点类似国家对经济进行宏观调控时常常使用的央行利率调整，当然，通过“降息”手段来调控经济要比 AS_PATH 复杂多了，因为影响经济的因素要比影响路由选择的因素多多了。
- COMMUNITY 属性：就是一系列 4 个八位组的数值，BGP 允许在路由中携带附加的数值，并在两个 AS 之间传递互连双方已经商量好的数值，这些数值可看作是区分不同用户的“暗号”，这样就方便对不同的“暗号”实施不同的路由策略了。当然，“暗号”的含义是双方商量的，可以表达任何意义，如何使用好此属性，是每个网络管理者必须考虑的问题。



ICMP：IP 网检测基本工具

前面讲到，路由器和交换机并不是真实数据的起始点和目的地，但是可以作为一些非真实数据的起始点目的地，它们就是 ICMP 数据。

如何确认自己的计算机是否连接到互联网？你可以打开浏览器看能否打开网页，你可以打开 MSN、QQ、淘宝旺旺看是否能“上线”……但是这并不是最科学的方式，因为如果一切都很顺利还好办，但是假如并不顺利呢？你发现打开浏览器，根本无法打开网页，或者 MSN、QQ 根本无法上线，怎么办呢？造成网页无法打开、MSN、QQ 无法上线的原因有很多，也许是软件设置问题，也许是账号密码错误问题，这时你需要进一步检测是不是网络出现了问题，你怎么检测呢？你需要一个工具！

TCP/IP 已经为你准备好了一系列简便而实用的工具，虽然它的名称有点复杂——互联网报文控制协议（ICMP，Internet Control Message Protocol），但这并不妨碍它作为互联网中应用最广泛的工具之一，广泛到网络工程师几乎每天都要用它，广泛到非专业人士也必须掌握基本的使用方法！ICMP 也是 IP 层协议的组成部分，专门用来报告错误信息和其他应引起注意的情况。

说 ICMP，可能很多人都觉得陌生，但是要提到两个命令，那简直可以用“大名鼎鼎”来形容了！一个叫做 PING，一个叫做 traceroute。无论是什么操作系统，都有这两个命令（traceroute 在有的操作系统中采用简写 tracert）。以 Windows 操作系统为例，PING 命令是互联网时代 DOS 命令中使用频率最高的命令之一，因为我们运行 Windows 的资源管理器，就可以做绝大部分 DOS 命令能做的工作，如对磁盘文件的处理；但和 TCP/IP 网络有关的操作，人们还是使用 DOS 命令行的方式，比如：

```
ping 202.102.7.1
ping www.sina.com.cn
tracert 202.102.3.4
```

其他操作系统，比如 LINUX、UNIX、Solaris，命令与此相似。PING 命令就像一个“飞去来兮”玩具，运行该命令的节点 A 将触发一个特殊的 IP 数据包从本地发出，这个 IP 包将轻装上阵——只携带了出发地和目的地的 IP 地址，以及一个简单的计时器和计数器（都设置为从 0 开始计时和计数）。这个 IP 数据包和一般的 IP 数据包一样在网络上寻找路由，每到一个网络节点，计数器会自动加 1，直到到达目的节点 B；在节点 B，这个 IP 数据包将报文的源、目的地 IP 地址做一个调换，其他内容不变，再返回到 A。注意，这个数据包来回的路由未必一致，可以走回头路，也可以不走。如果这个 IP 数据包顺利回到起始节点 A，则说明 A 和 B 之间双向路径均通畅，如果它没有回来，那么 A 和 B 之间至少有一个方向上的路径是不通的。从上面的描述可以看出，PING 命令是用来检测两个 IP 节点间连通性的工具。当这个 IP 数据包回到起始点 A，计时器和计数器中的当前数据将显示在屏幕上。一般情况下，A 节点上能 PING 通 B，那么 B 节点上就应该能 PING 通 A。工程师会通过连续的 PING 查看计数器的时间变化，并通过丢包情况分析整条链路的质量。IP 数据包在网络上的“长途旅行”，可能会



遇到各种网络情况，对不同长度的 IP 数据包而言，所遇到的待遇未必是相同的，有时候因为包长增大，延迟会突然增加；对于较差的网络环境，过长的 IP 数据包可能根本无法通过整个网络回到起始点。**这正是：“苦不苦，想想长征两万五；累不累，想想大包 PING 来回！”**

Traceroute 命令是追踪路径的命令，看看 Trace 这个词就会明白了。在英文里，Trace 是“追踪、追寻”的意思。既然是追踪、追寻，就要有所反馈，而 Traceroute 的特点，就是“一步一回头”，从起始节点 A 开始的特殊格式的 IP 数据包，也携带计时器和计数器，也是从 0 开始计时和计数。这个包和 PING 命令发出的 IP 数据包类似，在寻找路由方面并没有过人之处，只是采用了这种机制：它每到达一台路由设备，就会向起始节点 A 发送一个反馈消息；当这个特殊的 IP 数据包到达目的节点 B 并发送最后一个反馈消息后，命令终止。在起始节点 A，会显示 A 和 B 之间的所有经过的路由器地址。使用 Traceroute 命令，可以检测当前路由状态下，数据包经过的所有路由器节点，并向起始点报告所有经过的路由器与起始节点 A 之间的时延和距离（跳数）。这个命令，颇似探险小分队每到一个新的地点就给总部发回相关讯息，让总部知道到达目的地的详细路径。

PING 和 Traceroute 命令的原理，就像图 11-10 所示的这个跋山涉水的小卡通。

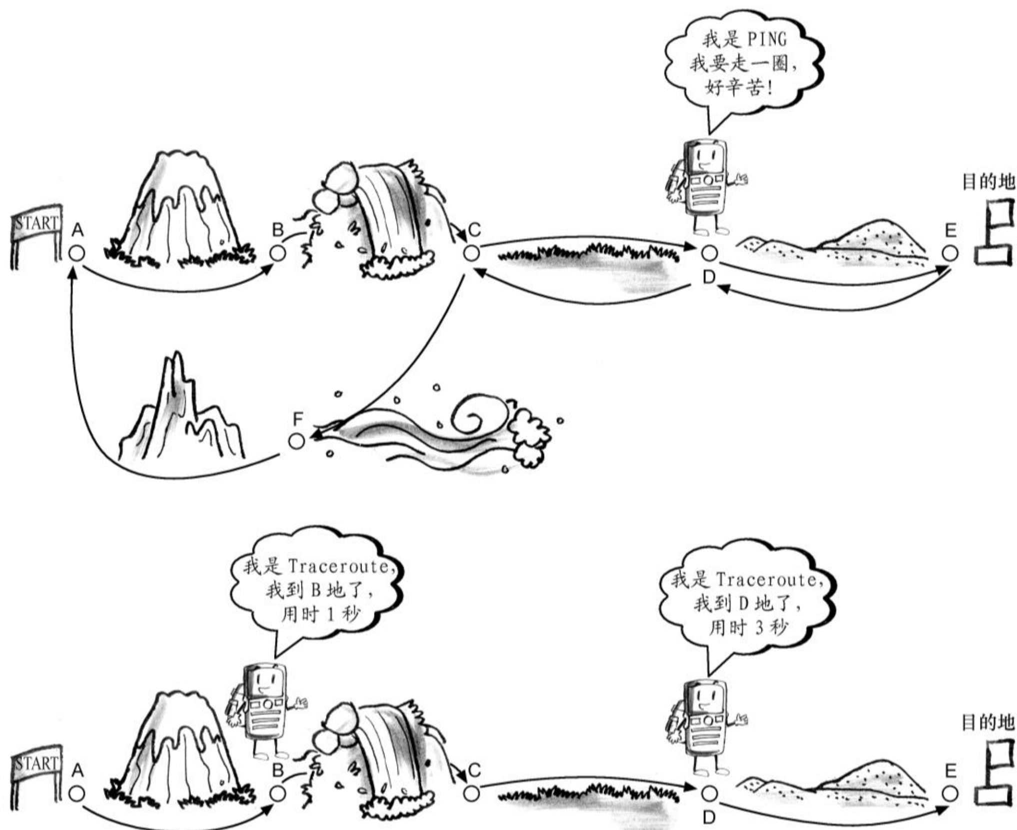


图 11-10　PING 和 Traceroute

灵活运用 ICMP 命令，可以方便地检测网络连通性、基本性能参数，有助于网络工程师快速定位故障、处理故障并排除故障。在你的计算机上运行几个命令试一试，你会有所收获！



IP 通信的未来——MPLS

IP 技术一路过关斩将，如入无人之境，但其本身存在的问题，必须得以解决，这位通信行业的新科状元才能获得整个电信行业的认可。IP 的出身、背景决定了其必须经过改造才能适应未来的电信发展的要求，否则，它终将让出自己的位置。值得庆幸的是，MPLS 让业界看到了 IP 技术未来的希望！目前很多运营商的网络都使用了 MPLS 技术，并取得了很大的成功！

大家注意，老杨又提到了 MPLS。上次我们提及 MPLS，是在第 6 章，因为 MPLS 本身就是一种数据网络的优化技术，其优化结果，可以大幅度提高数据网络的服务质量支持能力；MPLS 可以被看作是一种优化了的 IP 网交换技术，同时，它又是一种使得 IP 网络可以动态应用带宽、实施流量工程的技术。当然，这也是一种优化。

第12章

Chapter 12



互联网通信

本章将进入最为个人用户熟悉的通信方式——互联网通信。互联网无孔不入无坚不摧无处不在，使得越来越多的人对互联网的具体应用非常熟悉，尤其是年轻一代，对互联网上行行色色的内容、服务以致“玩法”了如指掌。无论是花花绿绿的网页，还是“嘀嘀”叫不停的 QQ，都属于互联网范畴的通信应用。互联网正广泛地被人们接受并不断改变着人类的生活和工作习惯，电子邮件代替了信函信件，日记变成了“博客”，恋爱谈到了网上，购物采用“电子商务”……这一切互联网应用的背后，是无数人为之努力的、冰冷的、严肃的通信原理和数学推演。WWW、E-mail、P2P、Blog，这些技术术语成了互联网应用的代名词。通信界有不少技术都深入人心，如电话、电报、传真；但没有哪项技术让人如此狂热如此痴迷！也许这就是互联网伟大之处吧！

本章我们将从互联网的发展历史开始讲起，并对基本的应用做简单的介绍。



互联网的诞生

追溯互联网的历史是一件有趣的事，就好像回想你熟悉的城市这十年都是如何变化的一样。虽然伟大的发明背后总有不平凡的经历，但是大多数人觉得互联网就是那么润物细无声地就来到了身边。

20 世纪中叶以后，美国和前苏联两个超级大国之间的冷战让这两个庞大的国家机器进行着无声的对垒，美国国防部突发奇想，提出一种“分散系统”的理念。1969 年，美国国防部高级研究计划署（DoD/DARPA）的领导利克利德提出“巨型网络”的概念，设想“每个人可以通过一个全球范围内相互连接的设施，在任何地点都可以快速获取各种数据和信息”。这个概念的提出无疑是今天的互联网的精辟总结！革命的实践比革命的理论更牛，这是始料未及的。紧接着，在利克利德的资助下，一群天才的科学家们建立了一个名为 ARPANET 的网络——互联网的前身诞生了。

1972 年，计算机业和通信业的拔尖儿人才齐聚美国首都华盛顿，大伙一起参加了第一届国际计算机通信会议。在热烈的讨论氛围中，会议决定在不同的计算机网络之间达成共通的通信协议。随后，石破天惊的 Internet 处女秀开场了——会议决定成立 Internet 工作组（还记得 IETF 吧），负

责建立这种标准规范。这是 Internet 第一次出现在世人面前，也是第一次从官方的嘴中蹦出来！

虽然 Internet 出世了，但是显然空具一个名号而已，如同嗷嗷待哺的新生儿，除了喝奶什么也不会。1974 年，IP 和 TCP 问世，才意味着处于散兵游勇状态的计算机网络能够通过大家都熟悉的语言进行通信，也表示互联网不但有了内容，并且在“团结就是力量”的真理指引下，具备了令世人注目的话语权！说到这里，不能不提及花白头发留着络腮白胡子的老头温顿 • 瑟夫。这个在 Google 里特立独行的老头年轻的时候与伙伴罗伯特 • 卡恩领导小组开发了 TCP/IP 并向全世界免费开放，从而造就了今天互联网的无比辉煌，他们都是我们应该记住的人！

就在 1980 年，温顿 • 瑟夫提议各个网络内部使用自己的通信协议，与其他网络通信时统一采用 TCP/IP 时，“互联”这一崇高命题不由自主地到来了。1983 年，ARPANET 将其网络核心协议由过去的 NCP 改变为当今的 TCP/IP，标志着互联网大发展的时代到来了！几乎与之同时，美国的科学家们囿于资源共享的不便利，在与欧洲和日本的科技角逐中落在下风，于是呼吁建立全美境内的计算机及网络资源共享。美国国家科学基金会（NSF）于这时跳将出来，利用 TCP/IP 建立名为 NSFNET 的广域网。初期他们以 56kbit/s 的通信线路为基础，1989 年升级至 T1（回顾一下 PCM 的 1.544Mbit/s 编码格式，而我国是 2.048Mbit/s 的 E1 格式），到 1991 年，NSFNET 的子网已经扩展到 3 000 多个，由此奠定了今天异常繁荣的互联网之基础。

蝼蚁再多，也无法撼动大象，NSFNET 独木难支，并不足以支撑起今天互联网时代华丽的开局。实际上，NSFNET 吸引的用户当中不仅包含有很多学术团体、研究机构，至为重要的是，个人用户也开始参与到这个网络当中。越来越多不同类型用户的加入，让这个本来无趣的技术资源共享区开始变得热闹非凡。人们渐渐地不安分于板起面孔交流资料，各种形式的沟通也开始盛行并越来越有吸引力。至此，Internet 完成了由资源传播通道到交流通信平台的角色转换，这个转换过程缓慢而细微，就如同一场濛濛春雨，轻柔地滋润大地。

从当年 4 台终端的互连，到今天数以亿计的计算机连接在这个庞大的网络上，互联网的高速发展给我们和后人无数的启示。



- 千万别小看“互联”的力量。当一个网络的用户积累到一定程度，其扩散效应会指数级爆发，其聚集的力量也将是可怕的！很简单的道理，两个人打架是打架，如果是两亿人打架，那就是世界大战！
- 规则一定要开放！开放的第一个效果就是更多的人先进来使用。注意，规则开放，未必意味着产品的开放。事实情况是，开放的规则获得更多的用户群，封闭的产品获得更多的利润（这是老杨的观点）。
- 你如果在街边盖楼，多申请几个门牌号，这些门牌号一定对你的将来有用。这是互联网中 IP 地址和 WWW 域名给我们留下的启示。
- 一件事情两种做法：先从简单的开始做；或者先从复杂开始做。互联网行业告诉你，选择前者，常常事半功倍。





IP 技术在互联网中成功的诀窍

有人说，互联网上最伟大的技术，第一个是 TCP/IP，第二个是 HTTP，第三个是 SIP。

把任何的数据拆分成小的单元，用某种标识符标示出每个单元的开头和终结。在每个单元里，有你从哪里来、要到哪里的信息，当然也要有真正要传送的数据信息。这就是 IP，简单、灵活、随遇而安。

我们利用 IP 技术，把希望传送的任何信息，包括文字、图像、视频甚至一个请求等信息，封装到一个个 IP 数据包里，通过路由器组成的网络传送到对方即可，这在第 4 章讲述过；IP 地址规划好以后，可以让世界上任何一台连网的计算机迅速找到另外一台连网的计算机，这在第 5 章讲述过；IP 技术还规定了路由规则和路由表的各种获取方式，这在第 11 章讲述过；采用 MPLS 技术可以优化 IP 网络的流量管理，这在第 11 章也介绍过。然而这些都不是 IP 网络迅速普及的“杀手级”原因。存在，一定有其合理之处，到底是什么让 IP 处于垄断地位呢？如果你用技术观点去看待它，恐怕会迷失方向。下面让老杨带各位去分析一下吧！

在信息通信技术发展过程中，出现了两个风格迥异的流派。一个是传统的电信学院派，一个是新型的计算机行业的自由派。

学院派的专家，性格严谨，他们更多地从技术底层开始分析，不断否定过去并不断创新未来，他们不允许客户信息有任何不可控的损失，整个网络规划要充分考虑稳定性、健壮性、安全性和可扩展性，他们努力抓住每一个细节，一丝不苟地探索、挖掘。于是，他们从 PSTN 到 X.25 到 DDN 到帧中继到 ATM 不断创造着历史。

自由派的专家，无拘无束，天马行空，他们擅长计算机上的各种软件和应用，期待一切都由计算机来控制和实现，他们往往先把两台计算机连通，然后再慢慢解决其他问题，比如通信质量不好、扩展性不强等问题。

这两派经常华山论剑、一决高低。学院派专家，在 IP 问题上终敌不过自由派人士。虽然学院派一肚子的苦水，一肚子的埋怨，但现实就这么残酷——IP 技术迅速占领市场，发展壮大，并将传统的数据通信技术都收编为自己的一个辅助分支。一切电信技术，如果不能与 IP 有很好的互通能力，这种技术基本要消亡。

IP 的渗透能力完全取决于其本质思想——先解决简单的，再解决复杂的；先解决表面的，再解决深层次的；先解决当前的，再解决未来的。IP 技术从来没考虑解决所有的问题，于是在起步阶段时候，“质量差”、“能力弱”成为了 IP 技术的常用定语。但是让人始料不及的是，一个神话诞生了——它迅速走红，并正努力解决所有问题。这虽然有点“先拉客入店，再埋锅做饭”之嫌，但成功就是一切，谁都不得不承认，IP 已经摆上了每个人的桌面！

至今思科都宣称自己是计算机公司而不是电信公司，虽然若干年来其电信产品年产值一直处于全球第一的位置。

当然，我们不很情愿地看到，IP 占据了互联网的主流技术后，或者说因为 IP 技术发扬光大并迅速形成互联网之后，其问题日渐暴露：服务质量问题总是缝缝补补，安全问题总是尴

尴尬尬，IP 地址不足的问题总让人们不得不拆东墙补西墙。

互联网目前业务种类多样，但是类型仍然单一，高带宽视频业务必须采用专网才能传送，安全问题必须采用很多专用手段予以解决，而 IP 地址不足，IPv6 已经化了若干年的妆，刚刚粉墨登场。

虽然如此，IP 技术还是以胜利者的姿态屹立于互联网基础协议的宝座上，已经没有人讨论是它绑架了互联网把生米做成熟饭，还是互联网依赖它获得了高速发展。总之，IP 技术已经稳坐中军帐！接下来一节，老杨将向各位总结一下接入互联网的诸多方式。



千变万化的接入方式

互联网接入方式千变万化，DDN、xDSL、光纤、PON、Cable、FTTx、微波、移动网、小灵通、VSAT……如图 12-1 所示。人类发明的几乎所有通信接入网，都可以被用于接入互联网。互联网是应用而不是技术本身，互联网的精髓是思想而不是技术细节。

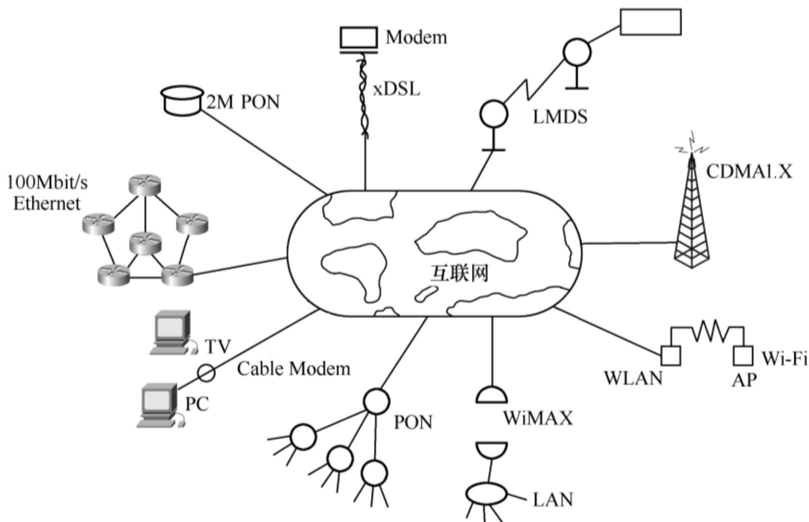


图 12-1　接入互联网的手段丰富多彩

本节最重要的，是要说清楚什么是“接入互联网”。

从发展的眼光看，互联网最早就是一个局域网，局域网之外的某个人通过某种方式能够与这个局域网共享数据，另外一个人也如法炮制……当有 10 000 个人能够和这个局域网共享数据，并且这 10 000 个人之间也能够共享数据，这个网络就有了一定的规模，成为一个“共享体”。接着，更多人开始通过各种方式进入这个“共享体”中（这时候还不能说是“互联网”）。很快，人们就意识到这个共享体的巨大实用价值，并意识到要获取其实用价值的途径是简单而开放的。这引起了以运营获利为目的的电信运营商的关注，于是他们开始建设自己的 IP 网，并通过一定的带宽与这个共享体互通，同时将这个共享体开放给所覆盖的公共用户，使自己



成为共享体的一部分，从中获取承载、接入的利润。

越来越多的运营机构和企业加入，在接入这个共享体并能够访问别人信息的同时，还把自己的信息共享出来供别人使用。当这种共享体发展到一定规模，就成为“互联网”了。

回到我们刚才留下的问题——什么是接入互联网呢？互联网很难有清晰的边界，它不像 PSTN，若干台电信运营商的交换机加电、连线、配置并开始放号，这就是 PSTN；把铜线铺设到千家万户，就是把客户的电话接入 PSTN 了。

作为一个使用互联网的人，通过各种线路（包括有线和无线）、各种设备（×× 器、×× 机、×× 猫）和各种协议，连接电信运营商或者 ISP 的数据网，做好相关的配置，能够通过浏览器访问 WWW，通过 Outlook 或者 Foxmail 收发电子邮件，通过 QQ 与你的朋友聊天，那么这就是“接入互联网”了！

而电信运营商或者 ISP，他们建立自己庞大的 IP 网并与其他国际、国内运营商的 IP 网互连，这是电信运营商的“互联网接入”。而这种“接入”更多是一种“互连”，因为它们建立的网络本身就是互联网的重要组成部分，这时候用“接入”二字就稍显牵强。

接下来的一节，讲解互联网内容的主要载体——数据中心。



互联网内容的主要载体——IDC

互联网高速发展，网络系统需要更高的访问速度，电子商务需要更加安全的信息传送。无论是信息提供者还是需求者，对访问速度和安全性都提出了更高的要求。如果信息提供者把服务器放置在自己的企业或家庭中，这显然会浪费大量的资源——无论管线投资还是系统维护，社会总成本都会变得很高。于是，数据中心 IDC 诞生了。在互联网中的数据中心被称为 IDC，即 Internet 数据中心。互联网中丰富多彩的内容，绝大部分并不存在于每天需要开机关机的每个人的 PC 上，而是存在于 IDC 中——你必须保证全球用户能每天 24 小时去访问其中的信息！在我们访问互联网的时候，大部分场合是不断从 IDC 获取数据的。当每个人都在享受互联网的饕餮盛宴时，绝大部分人并不清楚，光鲜而丰富的内容，大都来自于那些一排排冷冰冰的机架，来自于那些发出巨大的轰鸣声的 IDC 机房！

IDC 的基础服务类型包括主机托管（把服务器保存在机房并且通过一定带宽连接到互联网上去）、虚拟主机托管（多个客户把信息存放在同一台服务器里，对于每个客户而言，都仿佛拥有一台自己的计算机，而实际上，只是大家共享一台而已，这就叫“虚拟”主机）、邮件缓存、场地、机柜的出租、域名系统服务、VPDN 及 VPN 系统、高速缓存技术、数据存储和备份服务等。

社会化的生产活动，让分工越来越明确。互联网加速了社会分工的过程，而互联网的建设也不例外。对于任何参与互联网应用的单位或者个人，只要把自己擅长的一面做好，而把自己并不擅长的“推”给别人去做，“人人为我，我为人人”，才能保证各自在专业的领域发挥优势，从而创造出更多、更丰富和更实用的技术和服务。试想，对于一个专业制作网站的人或者企业，如果花大量精力在服务器带宽问题、安全问题和 IP 地址申请的问题上，他还有

精力做出让人满意的网站吗？

为了这种社会化的大分工在互联网行业更加有效地体现，电信级的 IDC，必须具备以下几个必要的元素，才能满足客户的基本需求。



- **带宽**：如果不想使 IDC 仅仅成为“服务器存放处”，那就需要足够的带宽。带宽是判断 IDC 实力的第一参数。一个电信级的 IDC 到底需要多大带宽接入互联网？很难给出确定回答，就像问一个人一天要喝多少水吃多少饭一样，它不是绝对的、标准的、死板的。从经验规律上来说，应当至少拥有两条 100Mbit/s 速率的线路通过不同路由与骨干网相连。典型的电信级 IDC 不应仅仅是骨干网的高速接入网，而应该是世界上所有独立网络的“对等网络”。（还记得 BGP 中我们讲到的 Peer 网络吧？）IDC 所拥有的带宽资源，将直接影响用户访问的服务质量。这里展示一组很有趣的数字：2007 年的调查统计显示，从输入一个网址到浏览到全部页面的信息，美国 Internet 用户的忍耐时间是 12s，而韩国年轻一代网民的可忍受时间是 4s，中国网民可忍受的时间较长，也是 35s 以内（从中我们看出，中国人的性格更具忍耐性，暂不讨论这种忍耐性在这里是否有价值）。响应速度慢的网站会使客户大量流失！
- **对等网络、独立的 AS 和 IP 地址**。没有 IP 地址，就上不了互联网，而 IDC 如果缺乏 IP 地址，就算有再大的存储空间，又能干什么事情呢（如图 12-2 所示）？



图 12-2　机房空荡荡，IP 地址大家抢，客户无法进入

- **以太网交换机**：核心以太网交换机应当是千兆以上级别，总吞吐量在 8Gbit/s 以上，应采用双备份，以提高网络的可靠性（不是不能凑合，那就看客户的接受程度了）。
- **服务器**：IDC 的核心设施是服务器。专门为 ISP、ICP 和 ASP 设计的 Internet 服务器，除在性能上满足适合 Internet 应用的要求外，从结构上考虑，它应当是一种薄型机架式服务器（有个很酷的名称叫“刀片”，当然，品牌不是吉列，而是 IBM、HP、浪潮、宝德或者其他任何服务器品牌），高度在 1U 或者 2U（1U 大



约 4.4cm)，一个标准的 19 英寸机架应该可以安装 20 台这种“刀片”式服务器。

- **存储设备：** IDC 应设置存储备份设备（如磁带机、大容量磁带库)，对于有高速大容量要求的设备，还应当考虑磁盘组和磁盘阵列甚至磁盘塔，上述设备都应采用一种叫做 RAID5[1]的技术，从而动态地备份数据信息。对于重要的核心设备，除了应用上述技术外，还可直接采用“镜像技术”，同时还应考虑通过网络进行异地备份。如果资金允许，IDC 可采用 SAN[2]系统作为全面的存储解决方案。SAN 可以看作是一种类似于 LAN 的新型网络，可以解决目前磁盘阵列所采用的传统并行 SCSI[3]技术存在的问题，即磁盘上的数据成为某一种服务器的专有资源，一旦该服务器所拥有的存储设备发生故障，整个系统对这部分的存取将会中断。
- **防火墙：** 防火墙的原理和检票员的作用很类似。只有获得授权的人才能进入小区，也只有被认为是合法的 IP 数据包才能进入 IDC（攻击包一般都有自己的特征)。另外，防火墙一般还能提供 IP 地址翻译，隐藏企业内部 IP 地址和网络结构，将内部的私有 IP 地址翻译成 Internet 合法 IP 地址。当然，防火墙的安全永远是相对的！软件、硬件都是人开发的，魔高一尺，道高一丈，时时防范黑客攻击，不能因为有了防火墙就觉得万事大吉。



E-mail——互联网的经典应用

互联网是什么？经此一问，大多数人脑海浮现的莫过于“HTTP”、“QQ”、“MSN”，一千个人或许会有一千种答案，但是无一例外的，都会想到“@”这个符号。这表示什么？E-mail！作为最常用最普及的 Internet 应用之一，E-mail 的生辰是一个值得大家纪念的日子，当然，前提是汤姆林森的记性不坏。

人生不如意十之八九，所以汤姆林森的记性确实坏，他只能大约记得“大约”是 1971 年的秋天，他所在的公司受聘于美国军方，研制一种可以通过电脑网络发送信息的程序，汤姆林森为了区别每个用户，就在用户名后加入了“@”符号，电子邮件由此诞生！虽然当今 E-mail 是最平常的互联网应用之一，但是出世之后的这段时间却相当的平淡，因为 20 世纪 70 年代 ARPANET 用户不仅不多，甚至可以称为“凤毛麟角”。此外，艾瑞 •奥尔曼还没有开发出 Sendmail 系统也是一大原因。1979 年，奥尔曼编写了一个专门传送邮件的系统——delivermail；1980 年，伴随 SMTP，奥尔曼将邮件系统升级为 Sendmail，难能可贵的是，这一升级之后，整整 20 年，这个邮件系统一直都以开源形式存在，随后的 E-mail 高速发展，Sendmail 的免费与开源功不可没！

等到 Hotmail 被收购之前，E-mail 已经深入民心。随着中国接入互联网，E-mail 使用者越来

---

[1] RAID5 是一种存储性能、数据安全和存储成本兼顾的存储解决方案。

[2] 存储局域网络，英文全称是 Storage Access Network。

[3] SCSI 的英文全称是 Small Computer System Interface，指小型计算机系统专用接口，允许将多种设备连接到计算机上。

越多，1998 年，由 163.net 开始，掀起了一股免费电子邮箱的高潮，国内各大网站纷纷推出免费电子邮箱服务，电子邮箱的普及度越来越高。但凡网民，E-mail 是首选必备的沟通工具。在中国，E-mail 的发展经历了免费、收费、大容量、无限容量几个发展阶段。2004 年愚人节，当众多服务商在为给免费用户提供 20MB 还是 50MB 容量的邮箱苦恼的时候，Google 闪电般推出了容量高达 1GB 的名为 Gmail 的免费电子邮件服务，而这个时候 Hotmail 仅仅提供可怜的 2MB 容量。Google 可以说是超前的，由 Gmail 开始，邮箱容量冲破 MB 级别向 GB 级别进发！2007 年，在 E-mail 领域一直较为专注的网易科技推出了无限容量的免费服务，E-mail 竞争进入白热化。

当前人们最常使用的 E-mail 软件终端是 Outlook 和 Foxmail，它们可以通过标准的 POP3 和 SMTP 接收和发送电子邮件。

POP 是 Post Office Protocol 的简称，它是一种简单而实用的电子邮局传输协议，而 POP3 是它的第 3 个版本，它规定了怎样将个人计算机连接到 Internet 的邮件服务器并下载电子邮件，是 Internet 电子邮件的第一个“离线”协议标准。SMTP 的全称是 Simple Mail Transfer Protocol，即简单邮件传输协议。它是一组用于从源地址到目的地地址传输邮件的规范，通过它来控制邮件的中转方式。SMTP 属于 TCP/IP 协议簇，它帮助每台计算机在发送或中转信件时找到下一个目的地。SMTP 服务器就是遵循 SMTP 的发送邮件服务器。目前基于 Web 的电子邮件系统，大都支持 POP3 和 SMTP，所以，无需打开网页，你就可以通过 Outlook 或 Foxmail 收发电子邮件了。

今天的职场生活中，E-mail 就像空气，我们天天使用，几乎快要忘掉它的存在。这大概就是伟大的事物的伟大之处吧！



WWW、HTTP 与门户网站

互联网发展迅速，却总无法渗透到亿万平民百姓，人们总觉得它缺了点东西，直到万维网的诞生。WWW，是 World Wide Web 的意思，中文译名也很有趣，“万维网”，读音 Wan Wei Wang，瞧，也是 3 个 W！2000 年后的互联网泡沫造就了一批靠门户网站发展起来的 ICP（互联网内容提供商），国内知名的门户网站如新浪、搜狐、网易等，他们的缔造者未必有通信或者电信行业的背景，也没有广告行业的背景，新的技术催生新的商业模式，新的商业模式催生了互联网行业英雄辈出。王志东、张朝阳、丁磊成了这些人中的佼佼者。

互联网的门户网站更像是男生宿舍的卧谈会。卧谈会是从天文地理开始，最后落实到班里的某个女生身上；而 ICP 们都是从邮箱、新闻、天气、论坛开始，最后落实到企业广告、移动彩铃或网络游戏上去。而万维网就是依靠对这些内容的支持，快速进入百姓视野的，也由此激发了互联网的大规模普及。

当门户网站的拥有者因为业务模式问题而忧心忡忡的时候，也是一大批网站正在迅速消失的时候，刚刚兴起的移动增值业务，短信、彩铃、彩信给了他们巨大的生存机遇。最终人们相信，在互联网的初级阶段，如果互联网不能和传统业务紧密结合在一起，就很难创造出新的商业模式，也很难获取利润。如果互联网的 ICP 们仅仅是现实世界在互联网上的一个初



级查询系统或者一个牢骚和评价系统，那么互联网也只是人们手中的一个玩具而已！然而事实是，具有创新精神的门户网站紧密与现实相结合，开创了互联网的崭新时代！

在宽带接入网发展起步阶段，WWW 曾被人戏称为“World Wide Wait”，因为全世界都在等待下载，速度慢，让交流变得困难。而今天宽带走进千家万户，“Wait”终于回归了“Web”。可以说，互联网的发展是和宽带的发展相辅相成的，这正所谓“水到渠成”。

WWW 的核心技术是 HTTP（超文本传送协议）。将文字、图片、声音、视频如我们现在看到的网站一样展现在你的面前，是一种多么惬意的事情！HTTP 是用一种叫做 HTML（超文本链接语言）的语言编写的，其中可能含有 Java 的应用。超文本是 20 世纪末期的发明，距中国人发明“甲骨文”已有四五千年的时间，它是使计算机能更加适应人的联想习惯的信息结构方式，其原理就是“文本链接”。1989 年，欧洲核子物理研究所（CERN）因为资料众多难于管理，而采用了超文本的方式来降低资料的维护和检索花费的时间。这个任务被分配到蒂姆·伯纳斯·李身上，他建立这个系统的时候，或许并不知道这个系统将开启一扇资讯新世界的大门。1993 年，HTML 标准使得万维网一改严肃的文本界面，这个平台的建立，使页面上呈现出更多的元素——文字、图片、表格、声音、动画……毫不讳言，正是这些元素的加入，才让人们对死板的万维网有了兴趣并得到大众的关注，万维网才有了勃勃生机，最后一发不可收拾，造就了一个非同凡响的时代！今天的 WWW，能用鼠标点击的地方已经不仅仅是文本了，有的还是图像、图形等，因此有专家提出了新的概念——“超媒体”。总之，互联网就是一个让人类充分发挥自己想象空间的地方，下一个发明，也许就由你来完成！



BBS、FTP、Telnet

回顾互联网业务的发展历史，比列举层出不穷的互联网业务类型更有趣。

第一代互联网应用是从 BBS、FTP 和类似于 OICQ 这样的即时通信软件开始的。在粗糙的 DOS 界面上发帖回帖，对于现在的我们来说已经快要忘记了吧。最著名的水木清华等经典 BBS 至今还保留着 DOS 模式，那是一种返璞归真，那叫一个“范儿”！粗糙的界面抵挡不了人们参与其中的巨大热情。在高速发展的现代社会，在 BBS 中找到志同道合者一起沟通、畅所欲言，那种兴奋是无法用语言形容的！

FTP 是最早的文件传输方式。Telnet 可以登录到远程计算机上进行各种操作。这两种应用在早期互联网共享数据、互通有无中广泛应用，但是随着拥有更加友好用户界面的应用诞生，FTP 和 Telnet 已成为通信网络工程师才经常使用的服务了。



即时通信——有事儿您 Q 我！

犹太人从来都不缺乏天才，在 IM（Instant Messaging，即时通讯）软件的贡献上，4 个犹太人可谓是里程碑式的人物。1996 年，4 个并不是科班出身的以色列籍犹太小伙发明了 ICQ。短短五年，ICQ 的使用人数就飙升到 1 亿，并且由于沟通更为简便和即时，相较于 E-mail 更受欢迎。不少媒体惊呼，“IM 将在 2004 年取代 E-mail”，虽然这如同叫嚣互联网媒体将取



代报纸等平面媒体一样自大，但却反映了 IM 一时的万丈风光。1999 年，使用人数最多的 IM 软件雏形出现了——腾讯公司提取了一些 ICQ 的元素，推出了 OICQ Beta1 版本，中国用户有了自己的 IM 软件。有如神助一般，OICQ 推出之后一路顺风顺水，短时间内风靡全国。仅仅一年，注册用户就达到了 500 万，同时在线人数也达到了 10 万；次年，OICQ 更名为 QQ，在中国 IM 市场上过关斩将，注册用户不断攀上新的高峰。据腾讯公司 2008 年 Q3 业绩报告，QQ（包含 IM 等其他风格的 IM 工具）注册账户总数 8.562 亿，活跃用户数 3.551 亿，最高同时在线数达到 4 530 万，互联网增值服务包月用户数 3 030 万，移动及电信增值服务付费包月用户数 1 480 万！它当之无愧地成为 IM 领域的世界第一！庞大的用户群体形成了风潮，一时之间，网民们在网络中邂逅，不免将“有事儿就 Q 我”当成一句问候。IM 在互联网的所用应用当中，是最平民化，也是民众基础最大的。

市场上比较知名的即时通信工具有十多种，但是用户主要集中在腾讯 QQ 和微软的 MSN/Live Messenger。

最后让我们看看何谓“即时通信”？即时通信是通过互联网实现的点到点或者点到多点的即时交互信息传递业务。所传递的信息五花八门，文本、语音、视频、数据、文件，还有动画（比如 MSN 的“传情动漫”）。它是 P2P 通信中的一种，实时性是其最主要的特征，它继电话业务后，又一次实现了真正意义上的实时“对话”。



搜索引擎

如果没有搜索引擎，浩瀚如烟的网络世界就犹如一座巨城，居住着数以亿计的居民，纵横交合的街道以千万计，要找到你想要达到的地方，难于上青天！可以很肯定地说，没有搜索引擎的支撑，互联网的发展绝非现在的一日千里，因为人们接受不了那么多毫无头绪的信息充斥在互联网中。

比 WWW 先出生、“疑似”搜索引擎的系统——Archie 问世 3 年后，“蜘蛛侠”spider 程序诞生了。spider 放出无数的“搜索机器人”，这个名字也是由此而来——在网上爬啊爬的。1994 年，包含有 54 000 数据量的 Lycos 首次在搜索结果中使用了网页自动摘要。

或许已经有不少读者看到这里有些心急火燎了，因为他们可能期待在这个讲述搜索引擎的故事里一开始就看到那个被神话得一塌糊涂的身影—— Google。其实 Google 的出身并不华丽，它只是斯坦福大学的一个小小的项目 BackRub。1997 年 9 月 15 日，拉里·佩奇注册了 google.com 域名，年底，Google 凑齐了三驾马车——谢尔盖·布林、斯科特·哈桑和阿兰·斯特拉姆伯格，开始了蜕变之旅。1999 年，Google 结束了内部测试，推出了 Beta 版本。2000 年，还很弱小的 Google 升级了数据库，这个时候 Yahoo!将其选作搜索引擎，Google 借此东风扶摇直上九万里，始成今日搜索巨擘。要找什么信息，去 Google.com“钩”一下即可！

当前，最大的汉语搜索引擎是 baidu.com（百度，取自“众里寻她千百度”之意）。Baidu 是中国人自己的企业，已经在纳斯达克上市，创始人是来自山西的年轻“老西儿”李彦宏。

搜索引擎开创了很多新的商业模型，比如通过搜索结果的位置来定价。搜索引擎最大的收入来源就是广告收入，这些广告并不像门户网站那样把商家的广告排列起来，而是根据关



键词排名。如果你的企业销售打印机，你可以申请把你的企业名称和网站链接放在“打印机”这样的关键词搜索结果的第 1 页甚至第 1 行。而搜索引擎靠客户的点击收费。这种点击成功率很高，效果显著，因此成为新的广告模式。

搜索引擎的优点是，可以根据关键词从浩如烟海的网页中抓取出需要的信息。这个优点也给搜索引擎带来了诸多麻烦。最大的问题是搜索引擎的排名方式，纵容了一些制假贩假分子利用排名进行非法活动，而搜索引擎公司很难甄别。另外，搜索内容涉及的版权问题。尤其是音乐搜索、视频搜索和图书搜索带来的版权问题和法律问题，都给搜索引擎公司惹过麻烦。

当然，瑕不掩瑜，搜索引擎依然是互联网经济的一个重大契机，两个公司的创始人都年纪轻轻富有朝气当然也富有财气。当今的搜索引擎，你可搜索的东西已经不仅仅是关键词，还可以是地图、卫星照片、图片、视频等。

互联网新贵 Google 公司因商业模式的巨大成功而名扬全球。让 Google 出名的还有它的办公室，那哪里是办公室啊？简直像一个大游乐场！宠物、自助餐、游戏室，足以吸引全世界的职场精英们。朗讯全球 10 万人的时候，Google 只有 7 000 人，然而他们创造的利润却几乎一样，并且在朗讯的业绩迅速下滑时，Google 还在高速增长！这让老杨想起了一句话：时势造英雄！

搜索引擎的成功给我们了很多启示。



- 别人都在关注各自的东西，你可以考虑关注别人的东西。
- 别人都在为商务而请客吃饭，你最好去开饭店；别人都去开饭店，你最好去卖筷子和碗，这也许是对“蓝海战略”最朴素的注解。搜索引擎就是这么成功的。
- 边打游戏边工作未必会降低效率，说不定还能提高创新能力呢！
- 网站未必要做的花花绿绿；回顾一下百度和 Google 的网站，我想你也会得出和老杨一样的结论！
- 如果你已经无法进入房地产行业去盖楼卖房子，你可以考虑在互联网上弄块地自己盖房子然后拿出去卖；陆地上的土地是有限的，但是互联网上你可以造地！百度和谷歌就是被他们的创始人创造出来的“土地”，谁要在上面开饭店，谁都在想尽办法把自己的“饭店”开在第一排。

有趣的是，2006 年新版的《韦氏大学辞典》中，收录了 100 多个新词。这本一向以保守、严肃著称的辞典中，竟然收录了互联网搜索引擎“Google”，意思是“在互联网上迅速查找信息”。由此可见，搜索引擎对人类生产生活的影响有多么大！



电子商务、阿里巴巴的淘宝网和支付宝

互联网开创了电子商务的新时代。如果本书在 10 年前出版，讲到电子商务，我想老杨（那时候应该叫“小杨”才对）会绞尽脑汁地杜撰。然而现在不必了。感谢阿里巴巴，感谢 eBay，感谢电子商务企业们已经获得了巨大成功！不要把电子商务想象得那么神秘，看看当今，越来越多的人在互联网上买卖“宝贝”，就知道电子商务多么深入人心。今天任何人打开电脑，

连接互联网，输入电子商务的网址，你就进入了一个超级 Shopping Mall，其规模是若干个王府井西单南京路淮海路上九下九北京路新街口劝业场加起来都无法抗衡的！

电子商务按照甲方乙方类型可以分为 B2C（企业对用户）、B2B（企业对企业）、C2C（个人对个人）和 B2G（企业对政府）4 类。不同的购物网站，其电子商务类型决定了其客户群范围。

我们以 B2B 和 B2C 为例说明电子商务的整个流程（如图 12-3 所示）。

图 12-3　电子商务（B2B 和 B2C）

长着外星人形象和拥有睿智坚毅内心的马云和他的阿里巴巴，成为中国电子商务的代表；在西方名气最大的当属 eBay。阿里巴巴是典型的 B2C 式的商务运作，而阿里巴巴旗下的淘宝网则属于 C2C，支付宝更是为互联网支付提供了必要的诚信保证。



互联网绝不仅仅带来个人娱乐方式的改变，更多的应该是人们生存模式的变革。阿里巴巴是互联网又一成功商业模式的典型案例。除此之外，亚马逊的图书销售也是风靡全球，类似的国内网站是我们熟悉的当当网。

电子商务很大程度上冲击了现有的传统商务模式，让世界上任何两个能够接入互联网的个人或者企业都能够快速结合并形成订单。传统按照地域划分代理商的模式在电子商务面前正在轰然崩溃，除了一些大的消费品如汽车、房产外，网上直接交易所占比重正在逐渐上升，即使是汽车和房产，网上咨询也成了最主要客户了解产品的手段。（你可以想象，互联网广告的作用将有多大！）互联网电子商务正在以人们无法想象的方式迅速改变着人们的生产和生活。



远程教学和远程医疗

提到互联网应用，不得不提到远程教学和远程医疗。这两者是任何人提到互联网业务时，都不可避免被提及，但至今实现都举步维艰的业务。

人们希望用技术手段将好教师和好医生的覆盖范围进一步增大，让他们为更多的人提供服务。远程教学可以以多种方式实现，最流行的是采用会议电视方式实现教学功能。这就是中央电视台的“百家讲坛”为什么如此火爆的原因吧！然而互联网是个太不可控的东西，远程教学所传送的语音和视频，必须是实时的、同步的，如果视频里一会儿出现马赛克、一会儿声音延迟，学生们会感到疲乏。

远程医疗也必须依托于保证质量的高带宽传送信息。远程传送图像，如传送 CT 照片，多出一个马赛克就可能对诊疗结果的准确性造成根本性影响，这是医疗本身是无法接受的！远程医疗的初级阶段是医疗专业的垂直门户网站，它们距离真正的远程医疗还有一段很长的路要走。经过几年的发展，国内已经涌现出一批口碑好、服务周到的网站，如三九医疗网等。



网络游戏——玩家的天堂

20 年前的某一天，夜深人静，英国埃塞克斯大学的罗伊·特鲁布肖闲极无聊，指下划出了这样几个字母——MUD（淤泥，泥巴）。这三个字母所蕴含的意义无疑能够瞬间“雷倒”对游戏痴狂的玩家们，把他们打入十八层泥巴潭。MUD 代表了网络游戏时代的到来！

当 MUD 用简陋的文字界面和乏味的输入指令方式叩响全世界玩家的心门时，还没有多少商人嗅到这个潜力巨大的商机，因为那时候的网络还不够普及，因此商业游戏界最成功的都是单机版的游戏——永远的仙剑、打不完的三国、没完没了的大航海和开心得“做梦也会笑”的大富翁。此后陆续有企业加入到网络游戏的产业来，却并未形成气候，这种情形一直延续到第一款图形 MUD《网络创世纪》的到来。诚如其名，这个界面粗糙、玩法单调的游戏在 1997 年一经推出，用户人数就突破了 10 万大关，它对玩家的吸引力简直堪比梦中情人般令人魂牵梦绕。它的风靡让不少商人趋之若鹜，很多优秀的作品纷纷出现，其中包括《无尽的任务》、《传奇》等，当然到了现在它们的光芒都被《魔兽世界》掩盖了。网络游戏的魅力，让以做保健品出身的清华高材生史玉柱都沉不住气，把号称能让人脑子聪明的××金放在一

边开始搭台子唱网络游戏这出好戏，用以耗费青少年刚刚聪明起来的大脑！图 12-4 所示的几款网络游戏的截屏，不知各位可曾成为玩家？



图 12-4　互联网游戏



垂直行业和区域门户迅速崛起

作为互联网的垂直行业应用，大部分被互联网垂直门户网站所垄断。比如互联网旅游的“携程网”，互联网汽车信息的“中国汽车网”，娱乐网站“猫扑”，等等。

近年来资本大量进入垂直门户。国内多家主要垂直门户或得到高额融资或被巨额收购，这些消息无疑刺激了资本的进一步涌入，并加快这些行业网站的整合与发展。业内普遍认为，行业网站的大批崛起，将是互联网下一轮的发展趋势。比如前面所列的几个网站，澳大利亚的 Telstra 以 2.54 亿美元的价格收购了中国房地产最大的门户网站搜房网（SouFun.com）51%的股份。国际著名投资银行高盛集团为代表的 Series B 投资者向中国汽车网（Chinacars.com）投资 2 500 万美元。这些公司的盈利模式一般是收取在线广告费、注册费与会员费、电子商务服务费等。

而与垂直行业应用相对立的，是区域门户。中国地域广阔，区域间发展很不平衡。区域门户网站根据各自区域的特点，建立了包括生活、娱乐、新闻、饮食、旅游、健康和理财等方面的信息中心。从另外一个意义上讲，区域门户是缩小版的综合门户网站，比较知名的如上海热线、深圳之窗、大渝网和红网等。这类网站一般的盈利是靠在线广告和增值业务，比如代建网站、网络业务代收费等。



互联网应用 2.0 时代

近些年来，互联网发生了微妙的变化。传统的 ICP，都是由专业人士们提供信息内容。



而当前很多应用，充分利用互联网用户的智慧，让网民自己组织自己的信息。就是从“大家点击我”变成“大家点击大家”，Web 的 1.0 版本升级为 Web 2.0！

Web 2.0 不是某种技术，而是一种更广泛利用社会资源的管理理念。这里面的代表业务是博客（Blog）、播客、维基网（WiKi）和沃客（Work）。

博客和播客允许任何人在互联网标准平台上建立自己的管理区域并发布消息。最著名的博客，如国内的新浪博客、搜狐博客，吸引了诸多名人和炒作名人的人士。博客又形成“博客圈”，具有相同或者相似志向的人组成博客圈，共享知识和感受。

维基网更像是一部自由的大百科全书。任何人把自以为是的知识挂在网站上，会有对此感兴趣的人去审核。若审核通过，则进入条目。这种海量的条目就组成了一个百科全书式的万象世界。

继博客、播客之后，沃客、威客（Witkey，智慧的钥匙）成为互联网领域创造的新名词。沃客是指通过网络方式形成的创新型服务交易市场，通过这个第三方平台，企业、政府等组织和个人可以预先提出需求，通过“悬赏”征集个体作者或团体工作者出售自己的知识、创意、科研成果等，最后按照采纳的结果进行付费。广义地讲，沃客是一种新型的网络工作交流方式。威客是沃客的工作主体，是一个智慧角色，是在互联网上凭借自己的创造能力，以技能、知识、智慧索取报酬的人。

从博客、播客、沃客的特点来看，Web 2.0 强调的是互联网应用，只需建立基础框架，任何人、单位、团体都可以自行添加内容，并共享给公众，不像传统的互联网应用，由 ICP 提供内容，而用户更多的是浏览。通过 Web 2.0，每个人都可以成为互联网信息的发布者，从而更深入地参与互联网信息发布。如果说传统的互联网内容是到饭店里点餐，那么 Web 2.0 更像是一次 DIY 的野炊，每个人发挥自己的聪明才智做出菜来供大家品尝，绝对原汁原味；Web 2.0 又像是一出自导自演的舞台剧，比起电视里播出的专业人士编剧、导演和演出的电视剧来说，自然是有另外一番风味。Web 2.0 和之前的（姑且称为 Web 1.0 吧）互联网应用，将会长期共存。如果说门户网站并没有真正改变传统媒体自说自话的模式，那么博客却完成了这一历史使命！它把话语权给了亿万人群，任何人都可以在自己的博客里畅所欲言，只要不违法，你都可以自己说出自己的观点、看法、态度，而不需要经过记者或者编辑们的加工。每个人根据自身专业写出来的文字，肯定比记者转述的文字要强许多！短短几年时间，中国处于活跃状态的博客已经高达几千万！

Web 2.0 自 2006 年开始被提出立刻成为互联网界最热门的关键词之一。各种新老媒体，纷纷将自身贴上 Web 2.0 的标签。YouTube、Myspace、校内网、开心网等一大群带着 Web 2.0 思想或者印记的商业网站纷纷涌现出来。从网络营销角度而言，Web 2.0 的核心价值在于其互动性，与传统 Web 1.0 时代的网络营销相比，在营销模式、营销受众、价值导向和传播方式等各个方面都有了新的突破。比如说，Web 1.0 的广告叫做“广告”，而 Web 2.0 的广告则是更加有效和节省成本的“窄告”。



老杨有话说——互联网的未来

在线视频、博客、播客等新兴的 Web 2.0 应用，似乎就诞生在昨天，我们每一个人都在见证

着它们的成长，同时也是见证着 Internet 一段新的历史发生。我们应该庆幸生活在这个时代。人类文明存续了数千年，在浩浩长河之中，能够成为鸿篇历史中的一粒稍微闪耀一些的沙粒殊不容易，能够在历史长河中被人记住、记载、记忆的东西更是少之又少，工具、农业、工业，这些激荡着人类智慧的音符宣告了文明的一个又一个时代，但是这些时代的分娩是漫长而充满阵痛的，种种革新都溢满着血泪。唯有信息时代的到来，是快速的，是愉悦的，短短数十年间，文明已经发生了翻天覆地的变化，信息的繁衍和流通以不可思议的速度进行着，所以，我们是幸福的。老杨要告诉大家——Internet 的历史不失为信息时代的一个缩影，一个投射；到来的互联网时代，对人类文明来讲，是一个庄严的符号，虽然其初始状态多多少少带有娱乐的味道。

以 TCP/IP 为技术基础，以不断诞生的应用为形式，以开放为生存根本，以包容为思想性格，它虚无缥缈却有物质基础，它不可名状却边界清晰，它无所不能却不乏漏洞，使用不慎也许会带来灭顶之灾……这就是互联网——被人形容为打开的潘多拉的盒子，这绝不是耸人听闻！

每个人都希望未来的互联网，更加开放、更加理性和更加丰富。

开放，包括协议的开放性，也就是公开、统一和不断发展的各种标准和规范。

丰富，是指多种业务方式和多样的内容，需要在互联网上“友好共处”，同时，要保证更多、更新的业务不断被发掘，更多、更新的商业模式和娱乐模式被发掘。

理性，是指在管理内容的混乱、接入方式的混乱、病毒的肆虐等方面，尤其是信息不受控制地任意发送，造成各种犯罪，或者网络游戏、黄色内容在青少年中的肆虐造成大量社会问题，“人肉搜索”有时候是正义的化身，但也有时候成为暴力的庇护所；文字垃圾的广为传播，对传统文化可能造成冲击。这些都需要人们用理性的方式进行规范。

尤其令人担忧的是，许多年轻人改变了大量汉语写法，比如文字缩写。为了快速打字而发展出来的特殊用字习惯，把汉语拼音的声母部分来代替本字，如 BH（彪悍）、NC（脑残）、RP（人品）等；比如“颜文字”，利用文字来组成图形以表达心情等，常见例子有 XD、╮(╯︿╰)╭[4]、Orz[5]；比如“火星文”，又称为脑残体，主要以繁体字、异体字、别字或者外文字母来代替中文字以达到特殊的阅读效果，但通常会造成阅读上的困难，比如“斑竹[6]”、“登陆[7]”、“囧[8]”、“槑[9]”。

开放和丰富，是否会和理性形成对峙？过度的开放是否能容纳理性的生存？丰富的业务，是否也会聚集大量的自相矛盾？包罗万象的信息呈现出无法分辨真假的现状、诸多因互联网内容而造成的社会问题，能否通过互联网的发展而“自愈”？

我们拭目以待！

---

[4] 从表情看就知道是“不高兴”的意思。

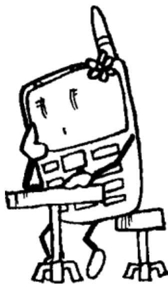
[5] 长叹一口气的样子。

[6] “版主”的意思，过去很多拼音输入法，“banzhu”的第一个选项是“斑竹”，很多人就直接用这两个字来代替“版主”，省去了一个字一个字查找的麻烦过程。后来“斑竹”这个词就流行起来。

[7] 应为“登录”，一般是指登录某个网站、登录自己的 E-mail 邮箱、登录 MSN、QQ 等。由于“登陆”和“登录”同音，也为了更加形象，越来越多的人喜欢用“登陆”二字了。

[8] 从这个字的表面就能看出人脸的表情，很“窘”、很尴尬的样子。

[9] 这个字本来读 mei（“梅”音，古字，表示梅花），但两个“呆”字的组合，表示“彻底呆住了”的意思。



第13章

Chapter 13

移动通信

进入 21 世纪以后，越来越多的人都逐步和手机打上了交道，都在享受着移动通信带来的便利。这注定是移动的时代。

本章我们将从技术的历史演进角度，介绍移动通信。



先搞清楚“辈分”

1987 年开始，我国的移动通信网在珠三角地区开始商用，至今只有短短 20 多年的时间。随着 1998 年中国移动与中国电信的拆分，我国移动通信进入高速发展期。移动通信超强的吸引力和巨大商机，让所有的运营商都趋之若鹜。

在讲述移动通信技术之前，我们有必要对移动通信“代”的概念做一个阐述。移动通信技术总是习惯性地被人冠以“代”的概念，这是一个宏观而粗放的术语。第一代移动通信是指模拟移动网技术。当然，“第一代”是模拟移动通信技术的“庙号”，因为在它高速发展的时候，并没有“第一代”这个称谓，GSM 网开始规模建设并放号后，业界对之前基于模拟网的移动通信统称为第一代移动通信。GSM 和 CDMA 称为第二代移动通信，也就是目前我们正在使用的移动通信网络。随后，又把正在全球高速发展的 WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA 以及 2007 年底加入的 WiMax 称为“第三代移动通信技术”，把更为先进的、目前还在实验室研究并被专家们反复争论的、还没有彻底标准化的新一代移动通信技术称为“第四代移动通信技术”。如果没有技术上的重大革新，应用上的重大变化，如果没有因量变到质变的飞跃，是不能用“代”来形容的。比如带宽增加 1M 这本身并没有什么，但如果因带宽增加导致可以召开高清晰的视频会议，这可能就是革命了。技术后浪推前浪，一代更比一代强。移动通信在发展过程中经历的若干“代”，都是不断适应激增的用户量或新的业务需求而产生的，其中的技术因素、经济因素、政治因素复杂而凌乱。

在无线通信环境的电波覆盖区，如何建立网内终端用户间的连接，是任何一个无线传输系统首先要考虑的问题。作为思维惯性，我们提到移动通信首先想到的是手机，其实广播也是一种移动通信，但广播的技术要简单得多。广播，只需要信号发送端发送一个信号，所有频率和发送端相同的终端（收音机）都可以接收这个信号，也就是说，每



台收音机接收到的信号都是相同的，并且，收音机不会向信号发送端发送信息；而移动通信的难点，在于每条链路的内容并不相同，并且，每条链路的信息流是双向的。这个问题的本质，是一个“多址移动通信”问题——要想办法让每部手机都有一个和其他手机不一样的“地址”，让移动的基站能通过这个地址准确地找到它，而这个地址必须是临时的，因为“移动”，手机会换到另外一个位置，就可能重新分配“地址”，这个地址不同于 IP 地址、电话号码，因为它必须和信号的某些物理特征有关。

目前使用的无线多址方式有：模拟系统中的 FDMA，数字系统中的 TDMA 和 CDMA。实现“多址”连接的理论基础是信号“分割”技术，也就是说，发送端进行恰当的信号设计，使发送的每一路信号都有所差异，以形成不同的信道，对应每个接收终端（如手机）；接收端必须安装信号识别能力的装置，能从混合信号中分离选择出相应的信号，反之亦然。移动通信的几代技术体制，大都围绕着上述的多址方式展开。



1G——充满梦想的一代

那时候老杨总是幻想自己的装束：身穿黑衣黑裤，带着派力蒙最新款墨镜，蒙太奇镜头一转，手中拿着一个黑家伙——大哥大！老杨年轻的时候（尤其是 20 世纪 90 年代初期和中期），疯狂地喜爱香港电影，那里面的“大佬”，都是这么一副形象。那种“酷”，那种“帅”，对当时年轻人的影响可谓深远矣。即使是现在，讲述移动通信的老专家们，都经常拿当年香港电影中的镜头举例。这就是第一代移动通信的冲击力！那些年和老杨一样有这种梦想的年轻人恐怕不在少数。

第一代移动通信是全球范围内早期建设的移动电话网，拥有模拟网手机的人都是社会上的“精英”或者“富豪”。在我国，由于各地分别建设且建设时间先后不同，有爱立信和摩托罗拉两大移动电话系统等原因，模拟移动电话网形成了两套网络，各网地区使用各网的手机，不能互通。1996 年，我国各省模拟移动电话系统实现了联网，模拟移动电话已有可能在全国 30 个省（市、自治区）实现自动漫游。但高昂的终端费用、高昂的话费，让手机成为名副其实的“大哥大”。因此很遗憾，老杨没有能够成为“大哥大”的真实用户。作为大学生，生活开销寥寥无几，大哥大也只能在偶尔的幻想中憧憬一下。随着第二代移动通信的兴起，模拟网移动电话逐渐退出历史舞台。



GSM 创造历史

千禧年，老杨终于有了一部属于自己的手机—— 一款当时很新潮的 GSM 大块头——别看是大块头，老杨已经觉得它很有大智慧了！1995 年，我国开始建设 GSM 数字移动电话网——俗称 G 网。1995—2000 年，中国的移动通信用户每年增长一倍——经济的振兴、科技的发展、人民生活逐渐走向小康，给移动通信带来了前所未有的发展机遇！

数字网的第一大魅力是漫游范围广泛，也正因此，中国移动推出一个听起来很霸气的品牌——“全球通”。G 网工作于 900MHz 频段，频带比较窄，随着近年来移动电话用户的迅猛增长，许多地区的 G 网已出现因容量不足而达到饱和的状态。为了满足广大用户的需求，又



建设了“D”网。

D 网的基本体制和现有的 GSM900 系统完全一致，但工作于 1 800MHz 频段（因此被称为 DCS1800 网），需要用 DCS1800 的手机。如果使用双频手机，那么在 G 网中也能漫游、自动切换。现在有许多城市是 DCS1800 系统和 GSM900 系统同时覆盖一个地区，被称为“全球通双频系统”，它使“全球通”移动通信系统的容量成倍增长。

让我们回到 20 世纪 80 年代初，看看 GSM 的童年吧！当时，欧洲已有几大模拟蜂窝移动系统在运营，斯堪的纳维亚半岛（全球移动网最知名企业 Nokia 和 Errison 都来自那里）的 NMT[1]和大不列颠的 TACS[2]，西欧其他各国也提供移动业务。当时这些系统都很“内馐”，只能在国内使用，而不能漫游到国外。为了方便全欧洲统一使用移动电话，需要一种公共的系统，1982 年，北欧几个国家联合体向欧洲邮电行政大会提交了一份建议书，要求制定 900MHz 频段的公共欧洲电信业务规范——好家伙，马斯特里赫特条约 9 年后才签署，欧共体还没成立，移动通信就先要统一欧洲了！在这次大会上就成立了一个在 ETSI（欧洲电信标准学会技术委员会）下的“移动特别小组（也被称为 GSM，Group Special Mobile）”来制定有关的标准和建议书。标准中规定了 GSM 通信系统的几大功能单元，如图 13-1 所示。

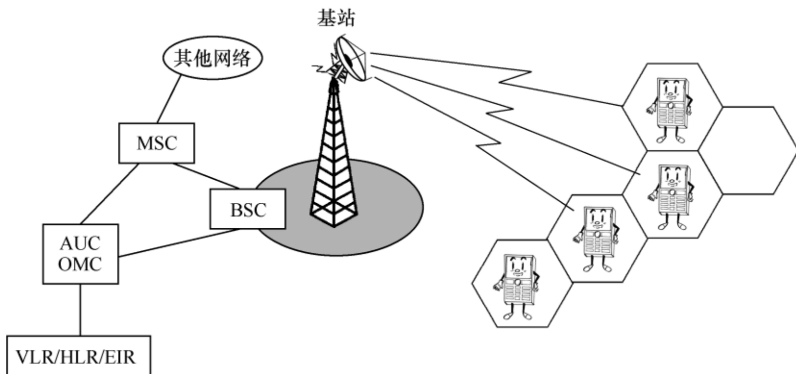


图 13-1　GSM 系统的组成

1. 移动台（MS）

别被名字唬住了，我们最熟悉的通信产品——手机+SIM 卡就是 MS 的一种，当然还有上网卡、无线公话等。除此之外，MS 还包括车载式和应用在船舶或一些特殊地区的固定式等多种类型。手机和 SIM 卡配合使用，才能实现通话。SIM 卡是 Subscriber Identity Model 的缩写，意思是“客户识别模块”。小小一块卡，却存储了数字移动电话客户的信息、加密的密钥等内容，可供 GSM 网络对客户身份进行鉴别，并对客户通话时的语音信息进行加密，用于防止并机和通话被窃听。

2. 基站子系统（BSS）

它是为一片地区服务的无线收发信设备，分为基站控制器（BSC）和无线基站（BTS）两

[1] NMT 的英文全称是 Nordic Europe Mobile Telephone，北欧移动电话。
[2] TACS 的英文全称是 Total Access Communication System，全接入通信系统。

部分。BTS 就是我们常说的“移动基站”，在城市的很多高楼顶端或者郊区的铁塔上都能看到它的身影，它是用来收集移动到它附近的手机发出的信息的；BSC“隐藏”在通信机房里面，用于对基站的配置管理。

3. 移动业务交换中心（MSC）

对于位于它管辖区域中的移动台进行控制和交换的功能实体——MSC 本质上就是一种程控交换机，从基站获取手机信号进入交换机，采用和 PSTN 一致的方式进行交换。

4. 拜访位置寄存器（VLR）

有了 VLR 和接下来的 HLR，才让移动通信真正可运营、可管理并魅力十足！VLR 用于存储与呼叫处理有关的数据，例如用户的号码，所处位置区的识别，向用户提供的服务等参数——这是一种特殊的服务器，在手机漫游的时候，VLR 的作用就凸显出来——它存储了手机目前所在的位置（也就是存储这部手机当前在哪个基站注册，或者说，这部手机正在与哪个基站进行无线信号的交互）；移动中的手机不可避免要在基站之间做“切换”，服务器记录手机的当前所在位置，非常重要！

5. 归属位置寄存器（HLR）

有了 VLR，就能知道手机当前处于哪个位置。而有了 HLR，系统就知道任何一部手机原始的注册地在哪里。如果 VLR 和 HLR 中有关城市的数据一致，说明该手机正在注册地；如果不一致，说明该手机处于漫游状态。如果系统判断出一部手机处于漫游状态，不但要收取额外的漫游通话费，当该手机欠费停机，整个移动网可以保证它在全球任何地方都不能实现通话。

6. 设备识别寄存器（EIR）

存储有关移动台设备参数的数据库——用于识别手机标识的数据库服务器。

7. 鉴权中心（AUC）和操作维护中心（OMC）

AUC 和 OMC 是整个移动网的运营支撑管理系统。AUC 主抓用户的鉴权，而 OMC 负责对整个网络的管理和维护。

下面我们模拟某个用户小周，通过她的经历，看看移动系统是如何工作的，如图 13-2 所示。小周是 A 城市的人，她在这个城市办理了一个手机号码，A 城市的 HLR 将记录这部手机的相关信息。如果它漫游到城市 B 的某个基站 W1，W1 获取该手机发送的请求信号并把该信号传送到城市 A 的 HLR 中，有专门的逻辑器件对 HLR 和 VLR 进行对比，来识别该手机是否为漫游状态，并根据该手机的计费方式、话费余额来决定是否允许该客户通话，避免欠费停机的手机在异地成功拨打电话。当有人拨打小周的手机时，电话即可直接呼叫到她目前所在位置——B 城市的基站 W1，而无需绕经 A 城市。

如果说移动通信只支持语音业务，那真的小看它了。移动通信还能支持各种多媒体业务。移动网支持数据业务，是从 GPRS 开始的。GPRS 是“通用分组无线业务”的简称，中国移动 2002 年开始建设 GPRS 网。GPRS 采用与 GSM 相同的频段、频带宽度以及相同的 TDMA 帧结构。因此，在 GSM 系统的基础上构建 GPRS 系统时，GSM 中的绝大部分部件都不需要作



改动，只需作软件升级。GPRS 系统分为 3 个模块：为 GPRS 提供业务支持的 GPRS 服务支持节点（SGSN）、为 GPRS 提供网络媒体支持的网关支持节点（GGSN）和用于数据包管理和控制的分组控制单元（PCU）。

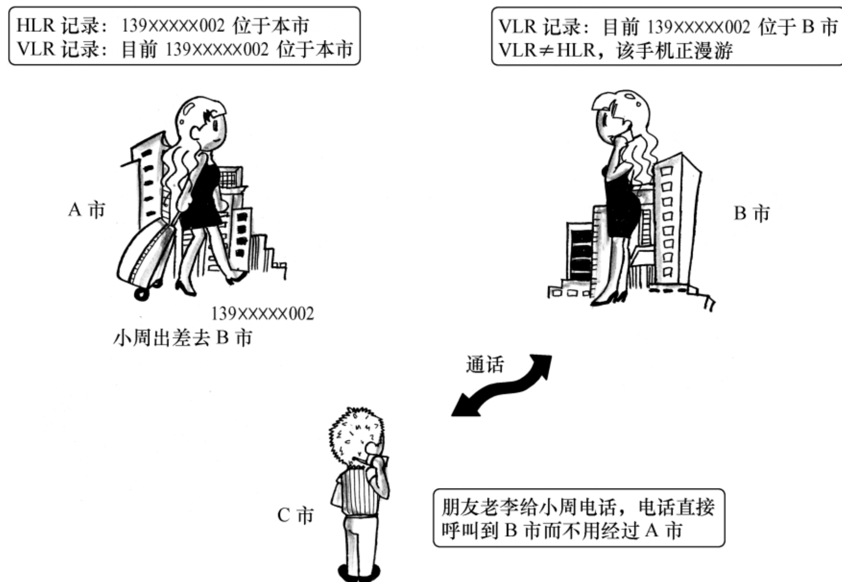


图 13-2　小周和她的手机

GPRS 特别适用于间断的、突发性的或频繁的、少量的数据传输，也适用于偶尔的大数据量传输——这不正是大多数互联网服务的特点吗？由于 GSM 网是通过软件升级和增加必要的硬件，利用 GSM 现有的无线系统实现分组数据传输，GSM 在承载 GPRS 业务时可以不必中断语音和短信业务。因此，GPRS 与下文讲的 CDMA1.X 一起，被人“尊称”为“第 2.5 代移动通信技术”。

GPRS 的理论速率极限是 172.2kbit/s，但实际商用的速率比理论值要低不少。这是因为如果要达到极限速率，一个用户必须占用所有可用的 8 个时隙，并且没有任何容错保护，而这个时候，语音是无法通信了。这每个时隙多宝贵啊！如果运营商把所有的 8 个时隙都给同一个用户使用，在这个用户周围的 GSM 用户就会很郁闷——他们很可能因为抢不上线，连基本的通话功能都无法正常实现！为了解决这一问题，GPRS 的继任者隆重登场——GSM 演进的增强型数据速率技术——EDGE，学名 Enhanced Data Rate for GSM Evolution，这项技术即将普及，有兴趣的读者可以密切关注。EDGE 的神通广大，在于它能在利用现有频率资源的情况下（频率资源很可能比石油还金贵），提供高速的数据业务，最高传输速率可达 474kbit/s，并使网络的容量和质量得到大幅度提高。有人把 EDGE 称为第 2.75 代移动通信技术。



CDMA 打破垄断格局

2001 年，前中国联通在全国范围内建设容量为 1 330 万的 CDMA 网络，试图建成世界上最



大的 CDMA 网络，从而形成 GSM 和 CDMA 两种制式在我国并存发展的局面，也形成了当时的中国联通 GSM 和 CDMA 两张移动网络并存的状况。自此，GSM 垄断全国的格局被打破。CDMA 网拥有 133 和新近加入的 153、189 以及即将启用的 180 号段。国际上采用 CDMA 制式的运营商比 GSM 少很多，规模较大的有美国 Verizon、Alltel，日本 KDDI、韩国 SK 电讯和韩国电信等。

有一些概念大家很容易混淆。CDMA 移动通信体制（比如中国电信正在运营的 133、153、189 网络）采用了码分多址（CDMA）技术，但并非只有 CDMA 这种移动通信体制（133、153、189 网络）才能采用码分多址（CDMA）技术，比如后面我们将要讲到的 SCDMA、3G 通信中的 WCDMA 和 TD-SCDMA 等都可以采用。而本节的标题"CDMA 打破垄断格局"中的"CDMA"，很显然，是指 CDMA 这种移动通信的体系架构而非码分多址技术。

我们知道，"码分多址"是每一个信号被分配一个"伪随机二进制"的序列进行扩频，不同信号被分配到不同的伪随机序列里。在接收机里，信号用"相关器"加以分离，这种"相关器"只接收选定的二进制序列并压缩其频谱，凡不符合该用户二进制序列的信号就不被压缩带宽。结果只有有用信号的信息才被识别和提取出来。这就是 CDMA 网络保密性好的根本原因。

美国高通享有 CDMA 技术体系大部分知识产权。说起高通，中国的通信人值得去研究。这个规模不大却拥有大量专利技术的企业，是通信行业中发展最快的企业之一，它的出现让"一流企业卖标准，二流企业卖服务，三流企业卖产品"的理念深入人心。当然，这种状况也一直让人们感到不安，并试图绕开它的专利，3G、4G 的若干技术体制都体现了这一点。

在这个世界上立足，没有两把刷子是不行的，CDMA 接通率高、噪声小、发射功率低、安全性高、抗干扰能力强，并能实现移动电话的各种智能业务，这是不争的事实。

我们近几年看到的 CDMA 的媒体广告，都是围绕这几大优势展开的。下面描述两则电视广告。

广告 1：准爸爸给准妈妈购买了 CDMA 手机，用以减少手机对胎儿的电磁辐射。这是发射功率低、辐射低等优势的宣传。

广告 2：酒吧里面给别人打电话，对方听到的仿佛是在一个很安静的地方打的电话。这是抗干扰能力的宣传。

"外行看热闹，内行看门道"，这些画面优美的广告背后，透露了大量高科技信息；只要你足够敏感，就会从平淡的生活中发现许多类似的情况！

CDMA 中支持数据通信的技术被称为 CDMA1.X，它的数据传送速率理论值为 153.6kbit/s，比 GPRS 的实际速率高很多（GPRS 虽然理论数值为 172.2kbit/s，但运营商一般只提供到 53.6kbit/s），这也成为 CDMA 制式的推广优势之一。



专用业务移动调度系统——数字集群

GSM 也好，CDMA 也好，这都属于公用移动通信系统。而本节将给各位介绍专用的移动通信系统——数字集群。它也是一种专用业务调度系统，是专用无线电调度系统的高级发展阶段。

如果各位对"数字集群"这个术语感到陌生，那老杨再说一个名词，想必各位耳熟能详——



“对讲机”！对，就是俗称“步话机”的那个黑家伙！过去的无线电调度系统是单信道调度通信，一个人讲，许多人都能同时收听。而数字集群是能够通过拨号实现寻呼的无线调度网。

厂矿、油田、企业、机场、车队，这些专业领域都需要专用的调度通信系统。如果要满足每个行业的需求，当然可以针对每个领域，都分配一定的无线电频率，建设一套无线调度系统——这就有问题了：自然界的频率资源虽然是无限的，可用于通信的频率却非常紧张。解决资源紧缺的方法不外乎两种：开源、节流。开源方面，专家们在不断尝试利用新的无线电频段；而节流方面，在合理利用有限的频率资源方面寻找出路。而集群移动通信系统正是在这种情况下脱颖而出的。

集群系统是把有限的信道集中起来，通过自动、动态、快捷的分配方式，为众多行业用户建立一套统一的无线电调度系统，采用统一的频率。也就是说，它是“集个体为群体，变专用为公用”。显然，这将大大提高资源的利用率。集群系统与移动通信系统最大的差别是，集群系统如果因信道没有空闲而致使某次呼叫未被接通时，系统中的排队设备能将主、被叫号码自动记录下来，一旦出现空闲信道，便会按呼叫的先后顺序接通。这是面向大众市场的移动通信系统所不具备的功能。

集群系统主要提供本系统内的无线通信，但它并不孤立——为数不多的调度台和移动台以适当的方式进入市话网，与市话用户建立通信联络。也就是说，集群系统可以和 PSTN、移动网实现互连互通。

我们可以把对讲机划为模拟集群技术范畴的终端，按照移动通信“代”的说法，它属于第一代专用移动通信系统，而数字化后的集群系统则是第二代专用移动通信系统。目前我国自主知识产权的数字集群技术有华为技术的 GT800 和中兴通讯的 GoTa 系统，国际流行的数字集群系统有欧洲标准的 TETRA、摩托罗拉的 iDEN 系统以及非常适合于铁路运输使用的 GSM-R 系统。

美国 Nextel 公司运营数字集群系统获得巨大成功，是目前全球范围内此类业务几乎唯一的成功典范。当然，Nextel 模式照搬到中国未必成功，美国集群通信占整个移动通信市场 10% 的比例在我国也是无法达到的。在我国，TETRA 和 iDEN 系统已经应用于公安、消防、交通、防汛、电力、金融等领域。铁道部 2000 年底正式确定将 GSM-R 作为我国铁路专用通信的发展方向，青藏铁路就成功应用了 GSM-R 系统。



“小灵通”横空出世

客观地说，如果没有当年吴大胡子[3]的执着，老杨很难提到“小灵通”这个名词，因为它本应距离中国人很遥远，但却由于种种特殊原因，它在中国大地“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”。

PHS 是日本开发的网络系统，日本人称为“个人手持电话系统”，就是我们常说的个人无绳市话系统。自 1995 年开始，日本的 NTT、Astel 和 DDI 三家运营商选用了这一技术。而在中国国内，自 1997 年开始建设，2000 年后，北方网通和南方电信进入建设高潮；而到了 2006 年，用户数达到了最高峰，接近 1 亿用户选择使用小灵通；随后开始下滑，到 2008 年底，用户数跌破 7 000 万。

小灵通是一种个人无线接入系统，它采用所谓的“微蜂窝”技术——很小很小的蜂窝，你如

[3] 指 UTStarcom（UT 斯达康）中国区前 CEO 吴鹰。



果有经常仰望天空的习惯，不妨数数你家附近的小灵通基站有多少，就知道这个“微蜂窝”有多“微”了。小灵通虽然是移动通信技术，但被微妙地冠以“固定电话的补充与延伸”，堂而皇之地被未获取移动牌照的中国固网运营商中国电信和原中国网通采纳；小灵通保密性能是不错的，能够在网络覆盖范围内自由携带使用，拨打和接听市话、手机、国内及国际长途电话；小灵通采用32kbit/s 语音编码，语音清晰，如果距离基站足够近，可以和有线电话媲美，小灵通电话可以支持短信（甚至可以和移动网络的短信互通），也可以支持数据通信，虽然应用并不广泛。

当然，小灵通最大的特点是移动“擦边球”。由于小灵通并没有被明确定义为移动通信技术，而是“固网的延伸”，是“无绳电话”，因此成了话费经济的代名词之一。也正是这个“固网延伸”，让它自打开始就实行单向收费，资费标准与固定电话基本一致（除了个别诸如小灵通包月之类的套餐外），而当时的移动通信领域是实行价格高昂的双向收费。所以前文老杨说过，所有购买小灵通的主要原因就是便宜，而小灵通便宜的原因不是成本低，而是它微妙地钻了空子——技术融合中经常有这样的“空子”可钻，而任何一个“空子”都有可能带来数以百亿、千亿计的利益。

国内的 PHS 网络由 UT 斯达康、朗讯、中兴通讯三个厂家的设备组成。

小灵通的诸多优点，也无法掩盖其技术落伍的本质。很多人认为只要让老百姓获得实惠的就是好的，这句话带有严重的逻辑错误，实际上，社会是个大群体，过于强调某个环节的局部利益，很可能会对总体利益造成影响，从长期角度讲，该局部利益势必会受到损害。老杨建议年轻人要一分为二地看待这个问题。小灵通虽然不断修修补补，却仍然无法代表最先进的生产力。运营商大量的投资可能要受到损害，而这种损害从最终角度讲，一定要摊销到消费者身上。当然，小灵通极大地冲击了传统移动通信的暴利时代。在这一点上，小灵通起到了积极的作用，是值得肯定的。

2009年2月，工业和信息化部要求运营商在2011年底前完成小灵通所占频段（1900—1920MHz）的清频工作，基本宣告了小灵通的结局。



“大灵通”昙花一现

SCDMA（Synchronous CDMA，同步码分多址），国内俗称“大灵通”，采用智能天线、软件无线电以及自主开发的 SWAP+空中接口协议等先进技术，是一个全新的、我国拥有完整自主知识产权的、无线的、移动的、通信的、技术标准。

SCDMA 总是和智能天线、同步 CDMA、软件无线电、SWAP+空中接口信令这些特有的先进技术一起描述。而 SCDMA 真正的独特性就体现在它是世界上第一套将“智能天线”应用于商业电信运营的无线通信技术标准，第一次将时分双工（TDD）用于宏蜂窝结构，其基站与终端都大规模采用软件无线电结构，并第一次优化组合以上功能，实现了同步码分多址的无线通信协议，成为国际领先的无线通信技术标准。

SCDMA 是由大唐电信科技产业集团旗下的北京信威通信公司研制的无线通信技术平台，也是我国第一个拥有完全自主知识产权的无线通信核心技术。同时，SCDMA 也是我国第三代移动通信技术标准 TD-SCDMA 的知识产权核心组成部分，厉害吧！

原中国网通四川、陕西等分公司以及原中国电信的河北等分公司所经营的“大灵通”无



线市话业务正是利用了 SCDMA 技术。3G 发展的前夜，大灵通在全国 16 个省、直辖市、自治区的 106 个县市有 100 多万左右的用户规模使用，有些是专网领域（如石油行业等）的应用。除此之外，印度尼西亚、蒙古、南非、斯里兰卡等国际市场也有应用。

当然，SCDMA 只能用“昙花一现”来形容，并且由于其介入时间晚，厂商联盟没有真正建立起来，因此应用和影响力远不及小灵通。电信南北拆分后，SCDMA 在南方的网通和北方的电信获得了一部分应用，总体应用量远不及小灵通。



移动直放站和室内分布——目标：没有盲区！

严格地说，本章讨论的内容是“公共陆地移动网（PLMN）”，卫星移动通信等还不在此范围，我们可以从基站安装的位置是在陆地上还是在空中、海洋里来区别。无论哪种移动网络，都离不开交换机、基站控制器、基站、信道、一定频率的无线电波、移动终端这些基本“零部件”，有的部件我们看得见摸得着，有的则不能。本节将讲述一种新的“零部件”，它一直默默无闻，却应用广泛，我们每天可能都在使用它，却常常熟视无睹。这就是移动网的直放站和室内分布系统，如图 13-3 所示。

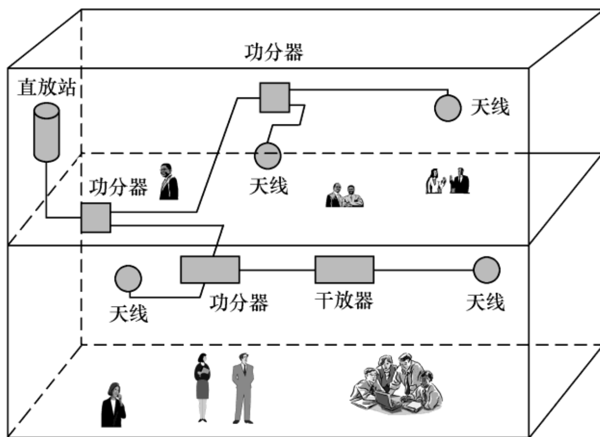


图 13-3　移动的直放站和室内分布

移动基站需要尽可能覆盖每一个区域，但是不可避免会有覆盖盲区。直放站和室内分布系统就是用来解决基站难以覆盖的盲区问题。直放站是将基站信号进行延伸，迅速扩大无线覆盖范围的设施。比如地下停车场、地下隧道、商场、电梯、公路、铁路边等信号无法到达信号的地方，都可以安装直放站。安装完成后，物业公司可能在某个显眼的位置贴上一个标志“×× 信号已覆盖”。直放站有 GSM 直放站、CDMA 直放站、PHS 直放站、SCDMA 直放站等，在 3G 网络中还有各种技术制式的直放站。根据应用场景，有布放在室内的，也有裸露在室外的，有通过光纤延伸的直放站，也有通过无线延伸的直放站等。可根据基站的密集性、用户话务量以及物理条件来综合决定如何部署直放站。

在有些国家，直放站和基站的比例高达 2∶1。每种移动通信的技术体制都采用不同的直放站，投入巨大，目前业界正在研究多种技术制式的直放站共用问题。

直放站还可以采用室内分布系统向用户端进行延伸。室内分布系统是将基站或直放站的信号通过无线/有线方式直接引入到室内的每一个区域，再通过小型天线将信号发送出去，使室内各个地方都能得到均匀分布的信号，达到消除室内覆盖盲区、抑制干扰的目的，为楼内的移动通信用户提供稳定、可靠的室内信号。



3G 姗姗而来

3G（3rd Generation）指第三代移动通信技术，它还有一个更加专业的名字——IMT-2000，IMT 是指 International Mobile Telecommunication，国际移动电信—2000，为什么有这么一个奇怪的名字呢？“2000”有以下几方面的含义：

- 3G 工作在 2 000MHz 频段；
- 在 2000 年左右出现；
- 最高业务速率为 2 000kbit/s。

看来，ITU 不乏幽默的专家，他们把毫不相干但是数字相同的几组数据用这个共同的数字来命名，非常“后现代”的风格！

与前两代系统相比，应该说第三代移动通信系统就是为多媒体增值业务而生的。3G 的任何一种制式，其传输速率在高速移动环境中都应该达到 144kbit/s 以上，步行慢速移动环境中支持 384kbit/s 以上，静止状态下支持 2Mbit/s 以上，其设计目标是为了提供比 2G 更大的系统容量、更好的通信质量和更高的数据传送带宽，而且要能在全球范围内更好地实现无缝漫游及为用户提供包括话音、数据及多媒体等在内的多种业务，同时也要考虑与已有第二代系统的良好兼容性。万事开头难，到了后头更难。通信界、IT 界所有的新技术，都要考虑向下兼容的问题，避免原有投资的浪费，并且要充分考虑用户市场新的变化，既不能拆东墙补西墙，也不能像猴子掰玉米，掰一个掉一个。那么 3G 的历史使命，将是在移动语音通信技术基础上提供高带宽的数据通道，以满足丰富多彩的增值业务的需要。

越是和增值业务有关的技术，越是受到人们的青睐。各个国家、各个联盟都在为各自的利益而努力，并最终让 ITU 接受了 4 种制式的 3G 标准：WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA 和 WiMAX。

CDMA 是 3G 中前 3 种标准的技术基础。1G 采用 FDMA 的模拟调制方式，这种系统的主要缺点是频谱利用率低，信令干扰话音业务。2G 主要采用 TDMA 的数字调制方式，提高了系统容量，并采用独立信道传送信令，使系统性能大为改善，但 TDMA 的系统容量仍然有限，跨区域的切换性能仍不完善。CDMA 系统以其频率规划简单、系统容量大、频率复用系数高、抗多径能力强、通信质量好、软容量、软切换等特点显示出巨大的发展潜力。下面老杨将分别简单介绍 3G 的四大标准。

1. WCDMA——源于欧洲的 3G 标准

宽带码分多址（WCDMA，Wideband CDMA），源于欧洲和日本几种技术的融合。虽然



名字比 CDMA 仅多一个 W，但是 WCDMA 和 CDMA 却相差甚远。WCDMA 也使用码分多址的复用技术，而且它跟高通的标准也很相似。但是 WCDMA 不仅仅是复用标准。它是一个详细的定义移动终端怎样跟基站通信、信号怎样调制、数据帧怎么构建等的完整的规范集。下面是一些专用术语简单堆砌。

WCDMA 采用 DSSS 的扩频模式，载波带宽为 5MHz，数据传送可达到 2Mbit/s（室内）或 384kbit/s（移动空间），支持可变速传输。它采用 MC FDD（频分双工）模式，与 GSM 网络可以完美兼容。作为一项新技术，它的优势在于 GSM 的广泛采用能为其升级带来方便。因此，也备受各大厂商的青睐。WCDMA 采用最新的 ATM 微信元传输协议，能够允许在一条线路上传送更多的语音呼叫，呼叫数从几十个增加到几百个，在人口密集的地区线路将不再容易堵塞。WCDMA 还采用了一些能够提高系统容量的技术，比如自适应天线和微小区技术。此外，在同一传输通道中，它还可以提供电路交换和分包交换的服务，因此，消费者可以同时利用交换方式接听电话，然后以分组交换方式访问互联网，这样的技术可以提高移动电话的使用效率，使得用户可以在同一时间既进行语音通信又进行数据传输。在费用方面，由于 WCDMA 采用分包交换的技术，所以，网络使用的费用不是以接入的时间计算，而是以消费者的数据传输量来定。需要说明一点，WCDMA 的核心网络基于 GSM/GPRS 网络的演进，可以保持与 GSM/GPRS 网络的兼容性，这就是为什么 GSM 网络升级到 3G，选用 WCDMA 作为标准了。国际上已有 100 多个国家、200 多张网络采用 WCDMA，如英国沃达丰、日本 NTT DoCoMo、西班牙电信、法国电信、美国 AT&T 等知名电信运营商。在国内，新的中国联通获得了 WCDMA 的运营牌照。

在未来，WCDMA 将沿着 HSDPA[4]、HSUPA[5]、HSPA+过渡到 LTE。HSDPA 和 HSUPA 统称 HSPA，后者上行速率更快。中国联通将在大城市采用 HSUPA 技术。而 HSPA 的升级版 HSPA+已经在一些国家开始建设，速率可达 21Mbit/s。

2. cdma2000——CDMA 的 3G 延伸

虽然 WCDMA、TD-SCDMA 都带有 CDMA 字样，但是真正意义上 2G 中的 CDMA 制式的继承技术是 cdma2000，即 cdma2000 1xEV。cdma2000 最早的规划将分为两个阶段：cdma2000 1xEV-DO（Data Only），采用与话音分离的信道传输数据，这就是 EV-DO Rev.A 以及 cdma2000 1xEV-DV（Date and Voice），即数据信道与话音信道“二合一”，这就是 EV-DV Rev.C 和 D。cdma2000 由高通公司为主导提出，摩托罗拉、Lucent 和后来加入的韩国三星都有参与，韩国现在成为该标准的主导者。由于目前使用 CDMA 的地区只有日、韩、北美和中国，从而导致 cdma2000 的支持者不如 WCDMA 多。由于 cdma2000 是 CDMA 标准的延伸，而与 WCDMA 互不兼容。

在我国，中国电信获得了 cdma2000 的运营牌照。

目前，全球 CDMA 投资急剧萎缩，CDMA 的技术演进已经基本达成共识，除了一部分转

---

[4] HSDPA 的英文全称是 High Speed Downlink Packet Access，高速下行链路分组接入技术，理论数据传输速率可达 10 ~ 14Mbit/s。

[5] HSUPA 的英文全称是 High Speed Uplink Packet Access，高速上行链路分组接入技术，其上行用户峰值传输速率可以提高 2～5 倍。

网建设 HSPA，相当数量的 CDMA 运营商还是会升级到 cdma2000 EV-DO Rev.A，并最终演进到 LTE，高通已经放弃发展 UMB（EV-DV Rev.C）技术。中国电信要求 EV-DO Rev.A 提供给用户的平均下载速率实际要达到 1.2Mbit/s。

3. TD–SCDMA——国产通信标准 No.1

TD-SCDMA——Time Division-Synchronous CDMA（时分同步的码分多址技术），作为中国自己提出的 3G 标准，自 1998 年正式向 ITU 提交以来，经历风风雨雨，目前已经到了商用阶段。它已经完成了标准的专家组评估、ITU 认可并发布、与 3GPP（第三代伙伴项目）体系的融合、新技术特性的引入等一系列的国际标准化工作。TD-SCDMA 标准成为第一个由中国提出的，以我国知识产权为主的、被国际上广泛接受和认可的无线通信国际标准。这是我国电信史上重要的里程碑。

（1）TD-SCDMA 的起步过程

1998 年初，在当时的邮电部科技司的直接领导下，由电信科学技术研究院组织队伍在 SCDMA 技术的基础上，研究和起草了符合 IMT-2000 要求的我国的 TD-SCDMA 建议草案，并提交到 ITU，从而成为 IMT-2000 的 15 个候选方案之一。ITU 综合了各评估组的评估结果，在 1999 年 11 月赫尔辛基 ITU-R TG8/1 第 18 次会议上和 2000 年 5 月在伊斯坦布尔的 ITU-R 全会上，TD-SCDMA 被正式接纳为 CDMA TDD 制式的方案之一。全球为之哗然，国人为之振奋！

中国无线通信标准研究组作为代表中国的区域性标准化组织，从 1999 年 5 月加入 3GPP 以后，经过大半年的充分准备和深入讨论，我国的提案被 3GPP TSGRAN（无线接入网）全会所接受，正式确定将 TD-SCDMA 纳入到 Release 2000（后拆分为 R4 和 R5）的工作计划中。

2001 年 3 月，包含 TD-SCDMA 标准在内的 3GPPR4 版本规范的正式发布，TD-SCDMA 在 3GPP 中的融合工作达到了第一个目标！

至此，TD-SCDMA 不论在形式上还是在实质上，都已在国际上被广大运营商、设备制造商所认可和接受，形成了真正的国际标准。

（2）TD-SCDMA 标准的现状

自 2001 年 3 月 3GPP R4 发布后，经过专家们不懈的努力，TD-SCDMA R4 规范已经达到了相当稳定和成熟的程度。

TD-SCDMA 的所有技术特点和优势得以在空中接口的物理层体现，而物理层技术的差别是 TD-SCDMA 与 WCDMA 最主要的差别所在。在核心网方面，TD-SCDMA 与 WCDMA 采用完全相同的标准规范，包括核心网与无线接入网之间采用相同的接口；在空中接口高层协议栈上，TD-SCDMA 与 WCDMA 也完全相同。这些共同之处保证了两个系统之间的无缝漫游、切换、业务支持的一致性、QoS 的保证等，也保证了 TD-SCDMA 和 WCDMA 在标准技术的后续发展上保持相当的一致性。

2006 年 1 月，已经被宣布为中国的行业通信标准的 TD-SCDMA 进而成为国家标准。2008 年，中国移动开始在多个城市对 TD-SCDMA 网络进行小规模放号。

（3）TD-SCDMA 标准的后续发展

在 3G 技术和系统蓬勃发展之际，不论是设备制造商、运营商，还是研究机构、政府、ITU，



都已经开始对 3G 以后的技术发展方向展开研究。在 ITU 认定的几个技术发展方向中，包含了智能天线技术和 TDD 时分双工技术，认为这两种技术都是以后技术发展的趋势，而智能天线和 TDD 时分双工这两项技术，在目前的 TD-SCDMA 标准体系中已经得到了很好的体现和应用，从这一点中，也能够看到 TD-SCDMA 标准的技术有相当的发展前途。

另外，在 R4 之后的 3GPP 版本发布中，TD-SCDMA 标准也不同程度地引入了新的技术特性，用以进一步提高系统的性能，其中主要包括：通过空中接口实现基站之间的同步，终端定位功能，高速下行分组接入，MIMO 上行增强技术，混合 ARQ 技术、增强上行信道和业务能力，等等。与 WCDMA 类似，TD-SCDMA 也将沿着 TD-HSDPA、TD-HSUPA、TD-HSPA+的路线演进到 LTE。

作为国产通信标准的 No. 1，TD-SCDMA，我们期待它一路走好！

（4）TD-SCDMA 技术特点简介

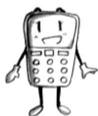
理解 TD-SCDMA 技术本身是比较晦涩的，而其技术特点带来的便利性则是容易理解，因此我们将根据每种技术特点描述其优势。

- TDD 模式是基于在无线信道时域里周期地重复 TDMA 帧结构实现的。因此在 TDD 模式下，可以方便地实现上/下行链路间地灵活切换——这就带来了好处！在上/下行链路间的时隙分配可以被一个灵活的“转换点”改变，以满足不同的业务要求。因此，通过灵活地改变上/下行链路的转换点就可以实现所有 3G 对称和非对称业务。比如说吧，视频业务有双向对称的需求，比如视频电话；也有单向要求，比如远程会议只需要主持人说话的情况；也有双向不对称的需求，比如远程教学，学生提问，不需要看他的视频而只发送语音信号即可，这三种情况下，如果用 TD-SCDMA 实现，都是能够快速灵活地满足需求的，不需要复杂的线路调整。
- TD-SCDMA 的无线传输方案灵活地综合了 FDMA、TDMA 和 CDMA 等基本传输方法，因此在传输容量方面非常优异。
- 智能天线技术的引入，使其容量还可以进一步提高。在最终的版本里，TD-SCDMA 无线网络将与 Internet 直接相连。
- TD-SCDMA 通过最佳自适应资源的分配和最佳频谱效率，可支持速率从 8kbit/s 到 2.8Mbit/s 的语音、互联网等所有 3G 业务。

TD-SCDMA 的提出比其他标准较晚，这给其产品成熟性带来一定的挑战；但在另一方面，TD-SCDMA 吸纳了 20 世纪 90 年代以来移动通信领域最先进的技术，在一定程度上代表了技术的发展方向，具有前瞻性和强大的后发优势。与其他 3G 标准相比，TD-SCDMA 系统及其技术的频谱效率高、支持多载频、不存在呼吸效应及软切换、组网灵活，频谱利用灵活、频率资源丰富、与 GSM 组网易于实施、灵活高效承载非对称数据业务等特点，还是让这个国产标准有实力与 WCDMA 和 cdma2000 分庭抗争的。

综上所述，TD-SCDMA 单独组网具有网络规划简单、建设和维护成本低的好处。而 TD-SCDMA 具有的非对称数据业务传输的特点使其更具有其他技术不可比拟的优势。

在我国，中国移动通信公司获得了 TD-SCDMA 的运营牌照。



老杨承认，本文对 TD-SCDMA 大书特书，带有明显的民族倾向性。100 多年的近代、现代通信史，是近现代中国经济落后、生产力低下的一个缩影。中国每年花费数以千亿计的人民币用于购置西方发达国家的产品，从而无形中缴纳巨额的专利费用，这对中国的国民经济是巨大的损失！

拥有自己的通信标准，让全世界向中国缴纳专利费，是每个中国通信人应该具有的梦想。TD-SCDMA、WAPI、AVS，它们也许并不完美，但却是一个开始。

4. WiMAX——3G 黑马，后起之秀

2007 年，在 ITU 在日内瓦举行的无线电通信全体会议上，经过多数国家投票通过，WiMax 正式被批准成为继 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 之后的第 4 个全球 3G 标准，成为一匹名副其实的“黑马”和后起之秀。

老杨认为，WiMAX 能够如此“突然”地搭乘 3G 末班车，与其多方面的“独特性”恐怕是分不开的。

WiMAX 的独特是从名字开始的，很多人听说过它，却不知道它的全名是“微波访问全球互通（Worldwide Interoperability for Microwave Access）”，乍一听，这是个很富有诗意的名字，接入（访问）与互通一色，微波与全球齐飞——这不正表达了人类美好的愿望吗？如果把前三个 3G 标准当作传统音乐的艺术家，WiMAX 更像是一个另类的流行乐手。WiMAX 从根源上就与其他几种 3G 标准完全不同。因为 WCDMA/cdma2000/TD-SCDMA 都脱胎于原有的语音为基础的技术体制，而 WiMAX 则从纯粹的数据业务中来。

WiMAX 又称为“802.16 无线城域网”，它被人们所熟知，是因为在创始之初，它仅仅是又一种为企业和家庭用户提供“最后一千米”接入的宽带无线连接方案。因其在数据通信领域的覆盖范围大（可以覆盖几十千米的范围），以及对 3G 可能构成的威胁，WiMAX 在相当长一段时间内都备受业界关注，直到其被 ITU“招安”成为 3G 标准。

一如当年对提升 802.11 使用率有巨大贡献的 Wi-Fi 联盟，WiMAX 也成立了自己的论坛，并力促供应商解决设备兼容问题，借此加速 WiMAX 技术的使用率，让 WiMAX 技术成为业界使用 IEEE 802.16 系列宽带无线设备的标准。WiMAX 能够成为新的 3G 标准，WiMAX 论坛所起的作用是不可小觑的。

WiMAX 之所以能掀起大风大浪，显然是有自身的许多优势。而各厂商也正是看到了 WiMAX 的优势所可能引发的强大市场需求才对其抱有浓厚的兴趣。WiMAX 可以实现更远的传输距离（50km 左右）、提供更高速的宽带接入（70Mbit/s），可提供优良的最后一千米无线网络接入并提供多媒体通信服务。IP 通信的巨大成功，促成了 WiMAX 的快速成长，从默默无闻到闻名天下，WiMAX 走了一条惊世之路！老杨认为研究 WiMAX 的成功，比研究 WiMAX 技术本身更有价值。从丑小鸭到白天鹅，从灰姑娘到王后，每个成长的故事都有背后的哲学。





- 成长需要基础。那些顺应需求潮流的丑小鸭和灰姑娘才可能成为白天鹅或者遇到白马王子：如果你没有高贵的出身，至少你应该拥有一定的美貌；如果你有高贵的出身，那么你要努力具备被白天鹅群召唤的所有条件。在现实中修炼自身，让现实距离目标更近一些、再近一些，这是成长的物质基础。
- 成长需要等待时机。不是所有的丑小鸭都能够变成白天鹅，进一步说，绝大部分的丑小鸭都无法变成白天鹅；也不是每个灰姑娘都能遇到白马王子，实际上，绝大部分的灰姑娘可能都无法遇到白马王子。等待机会，忍受寂寞，是成长的必经过程。
- 成长需要把握机遇。即使顺应了需求的潮流，还应该有一些有意无意的机会，比如你被别人羞辱而勤奋练习飞起来，或者无意中参加了一个宫廷舞会，比如在多个标准打的不可开交的时候，引入一个对手反倒容易让局面更加平衡。把握机会，抓住时机，是成长的关键步骤。
- 成功都是一样的，不成功各有各的理由。科学不是童话故事，原理、规则，从正面看都是冰冷的、严厉的、容不得半点虚假的，从背面看都是温润的、轻柔的、富有人情味儿的。

5. 3G 在中国

3G 对中国的通信行业以至于国民经济都有重大影响。这个影响来自于两方面。一方面，来自于中国第一个自主的通信标准——TD-SCDMA；另外一方面，由于 3G 网络投资巨大，对未来影响也很大，因此如何发放 3G 牌照，曾经展开过多次全国通信界的大讨论。运营商在 2008 年的整合，就与 3G 牌照的发放密切相关。2009 年 1 月，3G 牌照花落各家，中国移动通信大竞争、大发展的格局全面展开。



4G——给未来许一个愿吧

3G 才刚刚开始，怎么就研究 4G 啦？是的！通信技术的发展必须在很早就要开始做基础理论性研究。当我们感受到互联网的魅力，你知道吗，30 多年前它已经被创造出来；当我们正在享用 GSM 网络的时候，GSM 在 20 多年前已经被提出并反复讨论。4G 是本书所有涉及的技术趋势中最不确定的一个。但是通过对 4G 未来的探索，有助于读者们了解通信专家是如何预感、预言、预测未来技术走势，并如何做进一步技术研究和技术跟踪的。另外，也让读者们了解，任何的科技发展，都需要几代人的艰苦努力！当我们在享受高新技术带给我们的各种便利的时候，请千万别忘记那些给我们创造这些便利的人们！

1. 第四代通信技术的产生背景

在新兴通信技术的不断推动之下，3G 通信的几大标准将成为未来通信技术的主流。该技术能为用户带来了 2Mbit/s 以上的数据传输速率，在这样的条件下，现在计算机中应用的任何媒体都能通过无线网络轻松传递。今后 10 年将会是 3G 移动通信系统高度繁荣的时期，或许到了 10 年以后（也许用不了 10 年）将会是第四代移动通信的天下。但我们不难发现每一

个不同的移动通信系统均会有重复性的时间点，大约每 10 年就有一项技术更新。2Mbit/s 甚至十几兆、几十兆的数据传输速度在今天看来很高了，但在十年后，它又不够用了！因此专家们预测，无线通信技术必将迈向 4G 通信技术时代！

2. 第四代通信技术难以名状

遗憾的是，就像无法精确预测地震一样，到目前为止，专家们仍然无法给出 4G 通信精确的定义。但有一点可以确信：4G 通信将是一个比 3G 通信更完美的新无线世界，它将可创造出许多消费者难以想象的应用！这又为“量变到质变”提供了有利佐证。4G 最大的数据传输速率超过 100Mbit/s，这个速率是目前移动电话数据传输速率的 1 万倍，也是 3G 移动电话速率的 50 倍。有读者说了，快速以太网不就是 100Mbit/s 么，最多和 PC 提供相同的服务啊。不仅仅如此！随时可以移动的终端，数据传输速率达到 100Mbit/s，可以弥补大量人类通信的很多空白，在行驶的汽车上、火车上、轮船上，在有线无法到达的孤岛、荒山、沙漠，享受 100Mbit/s 的带宽，人类能够做更多的事情，人类征服大自然的能力又会“更快、更高、更强”！如果说现在的 3G 能为我们提供一个高速传输的无线通信环境的话，那么 4G 通信将是一种超高速无线网络，一种不需要电缆的信息超级高速公路。说起来的确有点不可思议！

未来的 4G 通信给了人类真正的沟通自由，并将彻底改变我们的生活方式甚至社会形态，4G 的概念图如图 13-4 所示。对于现在的人来说，未来的 4G 通信的确显得很神秘，不少人都认为 4G 网络系统是人类有史以来发明的最复杂的技术系统，它的规模、影响力将远远超过人类历史上所有的技术体系，当然也包括载人飞船和登月。的确，4G 网络在具体实施的过程中如果出现大量令人头痛的技术问题，大概一点都不会使人们感到意外和吃惊，4G 网络存在的技术问题大多和互联网有关，并且需要花费好几年的时间才能解决。总的来说，要顺利、全面地实施 4G 通信，将可能遇到标准难以统一、技术实现难度大、容量受到限制、市场难以消化、设施难以更新等历史性课题。

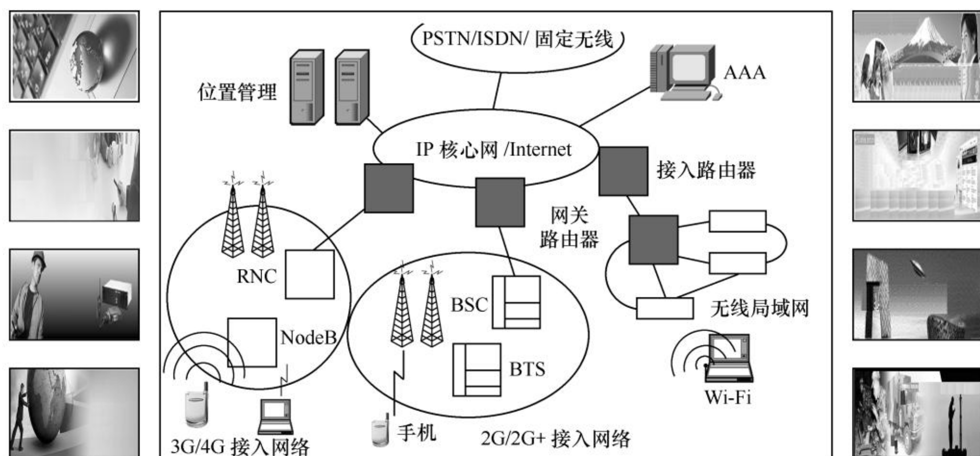


图 13-4　4G 的概念图



3. 后 3G 时代的发展展望

移动无线技术的演进路径主要有 3 条：一是 WCDMA 和 TD-SCDMA，均从 HSPA 演进至 HSPA+，进而到 LTE；二是 cdma2000 沿着 EV-DO 路线，最终到 UMB（超移动宽带），但这条路几乎已经进入死胡同；三是 802.16m 的 WiMAX 路线。这其中 LTE 拥有最多的支持者，WiMAX 次之。但是这并不是绝对的，比如 2008 年刚刚获得原中国联通 CDMA 网络后，中国电信就准备将后 3G 的发展方向定位为 LTE，但这仅仅处于技术论证过程，是否真的能达到 LTE 的彼岸，还需要理论和实践的双重检验。图 13-5 所示，是移动通信的整个发展历程。当然，科技永远没有最终版本，只有最新版本。我们可以预见，移动通信将继续改变着我们的生活。

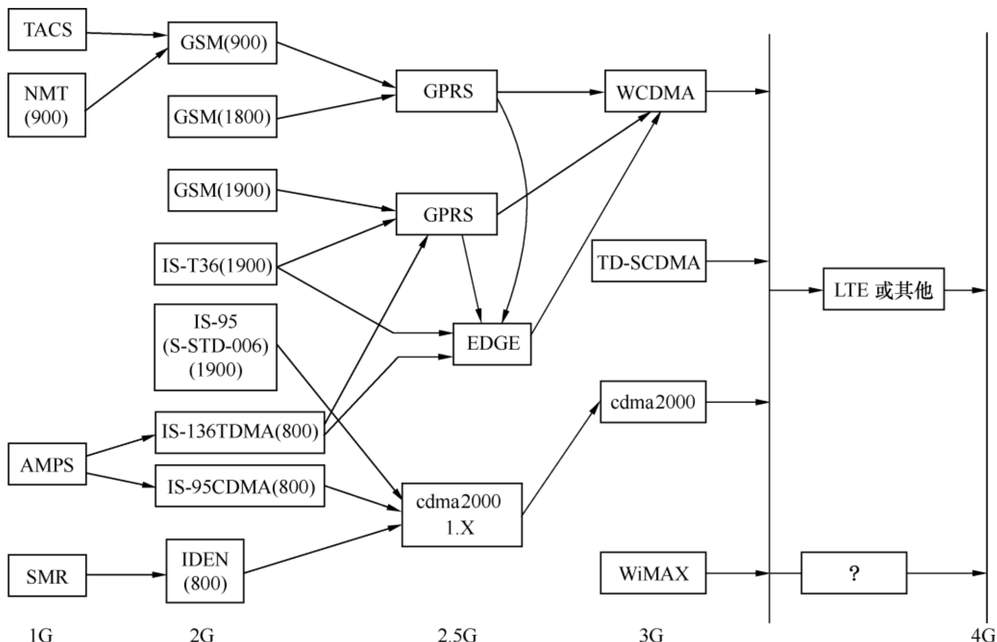


图 13-5　移动通信的演进图

如果说 3G 上马后最流行的术语，非 LTE 莫属。LTE 也被通俗地称为 3.9G（这是多么有想象力的版本号！3.9，预示着属于 3G，面向 4G，不给自己留下余地，再往前就是 4.0 了！当然，未来只能预测，不能确定，如果哪天专家们造出一个 3.99G，各位读者也不要觉得奇怪）LTE 具有 100Mbit/s 的数据下载能力，被视作从 3G 向 4G 演进的主流技术。此前，英国沃达丰、日本 NTT DoCoMo、美国 AT&T 和 Verizon、中国移动、中国联通和中国电信等国际国内诸多主流电信运营商都已经决定采用或测试 LTE 技术。

LTE 是由爱立信、诺基亚西门子、华为等世界主要电信设备生产商开发的技术，CDMA 阵营也有投入。由于美国高通公司在 3G 时代占据了技术的核心专利，LTE 阵营处心积虑搞 OFDM 绕开高通主要技术。

对 4G 的构想，不仅仅承载了当代通信人的梦想，更承载了全人类从古至今的梦想。因此



对 4G，我们都翘首以盼！



移动网增值业务

移动通信的诞生，极大地方便了人们交流和沟通，这十多年来，基于移动通信的增值业务层出不穷。在移动增值业务中，我们不得不提到最受中国老百姓欢迎的短信业务，它的大规模爆发式增长，是人们始料未及的。而彩信、彩铃业务的出现，满足了年轻人对时尚、流行元素的追求。手机游戏、WAP 也都获得了一定的应用，不管其用户规模如何，它们都在很大程度上沾了“移动”的光。

1. 短信——始料未及的巨大成功

短信在设计之初，只是移动通信的附属产物。谁都没曾想，短信能够火到如此地步。尤其是对性格相对含蓄的中国人来说，这是再合适不过的通信工具了。目前国内短信业务收入占到了整个移动增值业务收入的 50%以上，它给人们沟通方式带来的是一次革命性的改变，甚至形成了一种“拇指文化”。

短信和话音无论在表现形式上还是在实现原理上都是截然不同的。话音服务是在两部手机之间利用移动通信网络的话音信道传送声音；而短信服务则占用公共信令信道，在手机之间传送文字、图像等可视信息。因此从资源利用上来说，短信服务比话音服务更节约。我们熟知的“手机银行”、“中文秘书”、“信息点播”等，都是短信服务的派生业务。

就拿中文秘书说吧，就是将普通电信和呼叫转移相结合的业务。在你有事不方便接听电话的时候，可将来电转移到移动通信服务公司的“中文秘书台”，由“秘书”代接电话，然后将相关信息通过短信的方式发送给你，使你既不错过重要信息，又不被人打扰。这种功能对于商务活动繁忙的人来说是非常实用的。

可以发短信的终端不仅仅是手机和小灵通，还有手机接收或发送器，如短信猫和中国移动推出的 MAS 系统（Mobile Agent Server）。很多电视节目、广播节目公布一些号码让大家发短信投票、参与节目，这些短信都通过一台接收机接收到计算机上，并由主持人或者导播打开并宣读。

短信业务高速增长的现实，对通信行业者分析增值业务未来发展趋势将有极佳的借鉴意义。短信，从“附属业务”转正为基础业务之一，这种让人“始料未及”，是偶然中的必然。我们就做一回事后诸葛亮，看看什么样的业务才是“杀手级应用”。



- 简单：业务模型简单，操作简单，学习使用方法简单。短信无需培训，只要会基本的输入法就可以操作；而简单的文字交互，对终端、系统的要求都不高。
- 符合性格要求：短信的交流方式，符合中国人的含蓄性格，只见文字，不闻其声。
- 符合人们的沟通需求：比如逢年过节的祝福或拜节，挨家挨户地拜访亲戚朋友，在现代社会中恐怕越来越不现实；通过电话沟通，每通电话都要耗费一段时间，无法做到面面俱到；而通过短信可以将相同的内容一次性发给很多人；很多公司的工作催办，也都用群发短信的方式进行；当然，大量的垃圾短信也是因为群发方便，才会泛滥成灾的。



短信的成功，打破了人们过去认为的“当实时业务大行其道，非实时性业务就会消失”。就像丰富多彩的人生自然需要丰富多彩的事物作为支撑和陪衬一样。其实近现代历史上已经发生过许多类似的事情：电子邮件诞生，并没有彻底替代传统的信函；彩色照片替代不了专业人士对黑白照片的厚爱，数码相机也没有替代所有胶卷形式的相机；计算机上的画图软件，并没有让国画大师油画专家们下岗或失业；电子书籍受人青睐，并没有让所有喷着油墨香味的传统书籍从地球上消失；Google 地图、丁丁地图，也没敢宣布纸质地图的死亡！

2. 彩铃和彩信

彩铃和彩信是移动的重要增值业务之一，老杨将在第 16 章详细介绍。

3. 游戏

不知道你发现了没有，有屏幕、有按键、有一定人工智能的所有设备似乎都在一夜之间有了游戏功能，即使这种设备的设计初衷并不是游戏机。从手机诞生开始，人们就发现，如果在手机里安装游戏软件，手机的销量会大增！

当今手机游戏种类非常繁多，已经形成了一个庞大的产业。全球范围内的手机游戏厂家与移动运营商结合，可以在手机中内置游戏软件，也可以提供各种游戏下载。当用户对单机版的手机游戏感到乏味，制造商们又开始设计手机网络游戏。网络游戏一般都是基于 Java 技术的，当然也有在通用的操作系统上开发的，如基于 Windows Mobile。如果你觉得看老杨的书已经很累了，就打开你的手机，玩个游戏休息一下吧！

4. WAP

用手机上网，WAP 曾经是最好的选择。

WAP 这个名称起得很“大气”，全称 Wireless Application Protocol，意思是“无线应用协议”，仿佛包括无线应用的所有领域。其实 WAP 非常“名不副实”，它仅仅是一种运行于手机和互联网之间的全球开放的通信协议。如果你用 Intel 迅驰笔记本的 Wi-Fi 功能接入互联网，虽然也是无线应用，虽然也是接入互联网，但并不需要用 WAP。用 WAP，是因为手机的屏幕小，而互联网 HTTP 中丰富的超文本不但会“撑破”你的手机屏幕，而且对于按流量收费的移动数据网络，会让你的钱袋迅速瘪下去，而用 WAP，数据量就不会有那么大，无论从屏幕大小还是费用多少来说，都是手机上网的上佳选择！

WAP 由一系列协议组成，用来标准化无线通信设备；可用于 Internet 访问，包括收发电子邮件，访问 WAP 页面等。

WAP 协议的诞生是 WAP 论坛成员多年努力的结果。它是针对不同的协议层定义了一系列规范，这些规范使得各方面的厂商和 SP 可以协同工作，开发无线通信网络的应用。但是，目前由于无线网的带宽等因素的限制，WAP 手机在多媒体上的应用，如可视会议、多媒体教学等，全球范围内都没有非常成功的案例。

WAP 并没有像人们想象的那样快速发展起来。老杨再事后诸葛亮一下，总结教训如下。



- 手机的屏幕远远小于计算机屏幕，浏览网页还是不便利，就像开惯了宝马奔驰的人，让他开 QQ 奥拓，不适应是肯定的。用户没有用手机浏览网页的习惯制约了 WAP 的发展。
- 目前的移动网，数据业务是按照流量收费，而访问互联网信息，客户对数据流量无法控制（不像按时长收费的模式，可以通过中断通话来控制费用），造成最终用户需求不够旺盛，很大程度上制约了产业链的发展。
- 各种手机终端支持的格式差异较大，显示出来的效果有差异。
- 上述诸多问题造成的结果是，并非所有的网站都支持 WAP 服务，甚至大部分的网站根本不支持 WAP。

5. PoC

当帅哥对美女打起了主意，这可能会成就一段轰轰烈烈的爱情。当专用调度系统对公用的移动通信网打起了主意，这将成就 PoC 业务！

前面我们讲过，集群系统的对讲机有一个按键叫做 PTT，就是“一按就讲话”的意思。移动网实现 PTT，则被称为 PoC 业务，意思是 PTT over Cellular。集群采用的是“半双工”通话方式，即通信系统在同一时间内只传送一个方向上的通话，而且只有在按住按键时才占用信道，通话方能进行；放开按键时，电话便立即中断。不难看出，这种通话方式，电路利用率比普通的电话业务高很多。GSM 方式，一次通话 10 分钟，需要占用无线信道 10 分钟；而采用 PTT 方式，双方进行 10 分钟的通话，可能只需占用无线通道 1 分钟。在当今信息化时代，人们总希望一按某个键就立即可以通话，而不像公众移动电话那样先拨 11 或 12 位号码，还要有数秒钟的接续时间；若遇到对方占线的情况，还不知何时才能通话呢，不论你有多么急的事都只有耐心等，这是一件很痛苦很恐怖的事！PTT 是移动通信里快速建立通话的业务。PoC 业务支持一对一、一对多通话。它与传统话音业务最大的区别是，通话组中参与者“始终在线”，参与通话的成员要说话时，只要按下按键就可以了。

PTT 业务在集群通信上已经获得了广泛应用，而 PTT 方式运用到蜂窝移动通信的公众网络中，使它成为服务范围更加广泛、能大大提高网络利用率的一项移动数据增值业务。

目前国内移动公众网都在尝试为集团用户提供 PTT 业务，并将其作为新的业务增长点。在人们工作节奏加快的今天，PTT 确实受到人们青睐。但是 PTT 并非一按就通，它也需要接续时间（又称为呼叫延迟时间）。

由于专业领域的调度系统越来越被大众所重视，因此 PoC 已经被列为 3G 的标准业务，也就是说，未来任何组织甚至是临时组织、家庭、班级都可以申请这项业务，而不仅仅是如公安、矿山、石油开采等这样的传统集群系统客户。人们普遍认为，PoC 将发展成为一种全新的人机交互界面——“一键连接”，以及一种可融合各种业务的平台——“一键多媒体”，创建一个崭新的 PoC 世界。

6. USSD

非结构化补充数据业务（USSD，Unstructured Supplementary Service Data）是一种基于



GSM 网络的、实时在线的新型交互会话数据业务，由于应用并不广泛，读者对这种业务可能并不熟悉。其实，USSD 是利用 GSM 网络的信令通道传送数据，是在 GSM 的短消息系统技术基础上推出的新业务，在业务开拓方面的能力远远强于短信系统。

USSD 技术既可以单独使用，也可以与目前的短信技术、GPRS 技术配合使用。它可为客户提供种类繁多的增值业务，如移动银行、金融股票交易、手机话费查询、气象信息预报和查询、收发电子邮件、航班查询、网上订票、民意测验等。

另外，利用移动运营商提供的通信网络，也可应用于生产生活的广阔空间，USSD 的应用可使监控通信的范围大大扩展，功能增强、成本降低，有广阔的应用前景。比如发个短信，就让电源断电；拨个号码，就打开门锁……这些创新的业务将在未来逐步走进千家万户！

7. 手机电视——在标准争论中抢占市场

CCTV-6 有句广告词："打开电视看电影"。而手机电视可以用这句广告：打开手机看电视！很酷吧！用手机看电视，将和 MP3、MP4 一样，将成为未来流行元素之一。越来越高的生活频率，让手机电视业务有了广阔的生存空间，这种单向的广播业务，和传统用电视机观看节目非常类似。如图 13-6 所示。

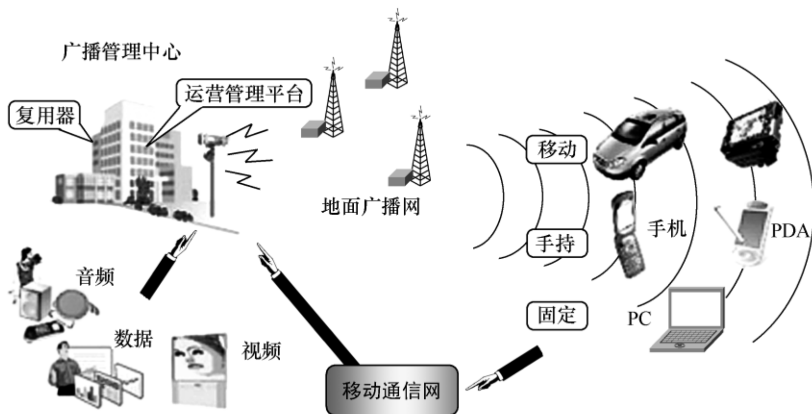


图 13-6 手机电视系统图

而当前手机电视真正吸引人的，并不是业务模式的花样，而是标准的七国八制。国际上有多种标准，国内广电、电信两大领域各有各的标准，即使在国内广电和电信领域，标准也不只一个。手机电视巨大的市场被人看好，因而受到多个利益群体的激烈争抢，相关标准上出现了极大的分歧。这种分歧仅仅拿电信和广电为各自的利益来争斗已经不能完全说得通了。手机电视市场未来很可能是 1 万亿甚至更多的市场，利益群体不可能不对这块巨大的蛋糕视而不见。本节老杨将向各位读者简单描述 PK 最激烈的几种手机电视标准。

（1）CMMB：是"中国移动多媒体广播系统"的简称。CMMB 是我国具有完整的自主知识产权的框架体系。它采用大功率卫星，实现全国天地一体覆盖、全国漫游。传输技术采用有自主知识产权的 STiMi 技术（这就是著名的"泰美方案"）。STiMi 技术是面向移动多媒体

广播的卫星与地面覆盖相结合的广播信道传输技术，由广播科学研究院研制。它利用卫星覆盖面广、建设周期短、见效快的特点，结合地面增补覆盖，实现面向手持类终端的广播电视和信息服务，最终形成一个覆盖全国的移动多媒体广播网络。广电总局的这一标准，只提到了 CMMB，而没有提到其详细的技术组合，比如编码形式和 3G 支撑网络的情况。2008 年，广电集团在北京进行了 CMMB 试验，采用 H.264 编码，并宣称将来可支持另外一个视频标准——AVS（数字音频视频编解码）系统。客观地说，CMMB 是目前国内市场化最快、最充分的手机电视技术体制。

（2）T-DMB：全称“数字多媒体广播（Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting）”，是在数字音频广播 DAB（Digital Audio Broadcasting）基础上发展起来的。DAB 是继调幅和调频广播之后的第三代广播，是将数字化的音频信号，在数字状态下进行各种编码、调制、传递等处理。我国国内已经有几个城市在进行 DAB 的试验，广电总局希望 DAB 和 CMMB 结合起来，前者作为地方台，后者作为中央台，共同发展。韩国是目前 T-DMB 的主要推动者。

（3）T-MMB：T-MMB 是 2008 年 6 月成为我国“推荐性国家标准”的一项手机电视技术，源自北京新岸线公司。T-MMB 采用时域复用和信道复用等技术，并利用 DAB 系统的子信道和复用控制，实现基于 DAB 发射端的多标准信号输出，解决了发射端的多标准兼容性。

（4）TD-MBMS：MBMS 是全球第三代移动通信标准组织 3GPP 在 R6 中定义的多媒体广播组播功能，MBMS 是手机电视标准之一，TD-MBMS 是 3GPP MBMS 的 TD-SCDMA 版本。TD-MBMS 已经拥有大量的用户群，很可能因为中国移动建设 TD-SCDMA 网络而占得先机。

（5）DVB-H：全称为手持数字视频广播，是欧洲移动电视标准。DVB 是欧洲 20 世纪 80 年代研发的一种体系，主要是解决声音广播的问题。结合移动电话的需要，DVB-H 改善了功耗和移动接收效果，通过灵活利用频率带宽，可承载多达 50 套节目，支持 GSM、GPRS、WCDMA 网络。目前 DVB-H 已在法国、英国、芬兰等欧洲国家，以及美国、澳洲、中国台湾和新加坡等国家和地区进行试播。它通过地面数字电视广播网，实现对手机等手持小型便携移动设备的电视信号接收，可以与目前 IPTV 以及今后的 3G 应用实现兼容和可能的技术平台共享。

国际上还有高通公司的 MediaFLO 方案。在我国，除了 T-MMB 和 CMMB 在争论中争抢市场并且竞争激烈外，还有清华的 DMB-T、华为的 CMB、通信广播标准化委员会提出的 CDMB。T-MMB 虽然成为通信国标，但是并不是强制性的，关于手机电视的标准之争并没有结束——也许永远也不会结束。一个一万亿的市场，允许多种制式共存恐怕很难避免。

第 14 章

Chapter 14



个人和家庭的通信

形形色色的通信介质和通信手段，根据处所不同，通信的表现形式也不完全相同。个人随时携带的，家庭里安装的，企业里部署的，都各有特色各有千秋。

本章，老杨将向各位读者介绍个人和家庭通信的主要手段和特点。如果让你列举 10 年来你家里的所有通信方式，你会发现一个有趣的现象——你一旦用上更先进的通信工具，过去的方式很快就被忘掉了。

好，想起现在用于个人和家庭的通信工具了么？固定电话、手机、ADSL？或者用小区宽带？还有电视，对！电视电缆作为通信介质的 Cable Modem，机顶盒，还有吗？呵呵，好，去年把小灵通扔了？对，小灵通也算，固网的移动延伸嘛。还有呢？哦，5 年前用 ISDN？哈，好！还用过拨号上网？看来你是个老网虫啦！还有呢？对，7 年前放弃的寻呼机！呵呵，这么回忆起来，还真不少！下面就随着老杨的描述，让我们逐一回顾吧。



固定电话及其衍生的数据接入技术

1. 固定电话

就从固定电话开始。我们看看家庭里面的电话是如何工作的。要说清楚这个，我们需要从电信机房说起。

我们以北京联通为例。北京联通在北京城内八区六县多个机房都安装有程控交换机（比如华为的 08 机，中兴的 ZX10 等），这些程控交换机互相有联系（通过 E1、STM-1 等，工程师不会说的这么专业，他们往往告诉你 2M 或者 155M），并且很多交换机都拉出铜线到用户小区。我们知道，这些程控交换机组成的网叫作 PSTN。

电信机房拉出一捆捆的铜线到小区、到路边，连接到一个像柜子一样的设施中，这个柜子被称为“交接箱”。交接箱一般都会上锁，如果哪个住户需要安装电话，北京联通的外线工程师将从接线箱中接出一条线到你家里去。这里面有以下几种情况。

- 一种是小区的开放商已经把铜线从小区中心机房部署到了屋子墙上的一个面板里；墙上的面板，有一个 RJ11 的插孔。工程师将连接交接箱和小区中心机房的线缆。你只需要利用电话线连接墙上面板的插孔和电话机上的插孔，家里的电话机就连接到 PSTN 了。

- 另一种情况是小区开放商并没有做这一工作。工程师将直接从交接箱中引线到你家里去连接到电话机上。

电话线是固网运营商的“宝贝”，因为基于这根电话线，通信专家们绞尽脑汁地加以利用，从电话到拨号上网到 ISDN 到 xDSL，新的业务在这一根根电话线上不断实现，老树不断发着新芽。本章从家庭角度来看待电话线作为互联网接入的发展历程。目前电信运营商倡导“光进铜退”，光纤将逐渐取代铜线，但是需要较长的覆盖时间。

2. 拨号上网、ISDN 和 ADSL

通信专家们在电话线上做文章，不断推出新的技术以充分利用这些铜线，先后出现了拨号上网（如图 14-1 所示）、ISDN 和 xDSL 技术，以满足语音和数据接入的双重需要。而这一过程，也是家庭数据业务从无到有，从有到优的过程。

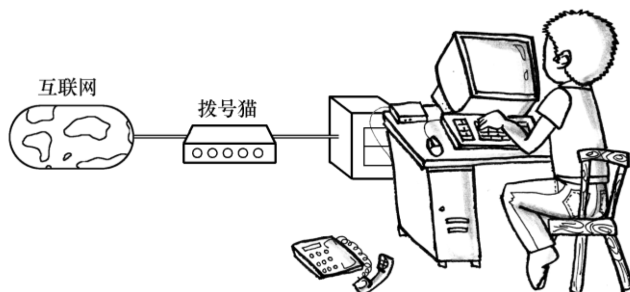


图 14-1　家庭里的拨号上网

 个人移动通信

个人移动通信，一般是指手机、小灵通、GPS、寻呼机等具有个人属性的通信手段。移动通信在目前来说属于个人通信，只有少数情况下带有一定的群体属性。

比如 VPMN，全名是 Virtual Private Mobile Network，虚拟移动网，是指移动运营商推出的一种服务，一个人群中的所有人相互拨打电话，资费比标准资费要便宜一些。这对一个企业、一个家庭、一个组织的多个号码而言，是非常具有吸引力的。VPMN 的技术实现，都是在移动运营商的计费系统中，将若干“组”号码之间的通话设置为特定的优惠资费。移动运营商包装成诸如“亲情号码”之类的业务包供用户选择，获得了成功。当然，“亲情号码”的数量是有限的，假如把所有用户都绑定在同一个亲情号码群里，那就是移动资费的全方位降价了。

GPS 是指全球定位系统。美国发射了 20 多颗 GPS 卫星，任何一个终端通过计算与其中几颗之间的距离，就可以定位终端所在的位置。目前车载的 GPS 正在逐步普及。

寻呼机也是早期移动通信的一种。中国人不会忘记这么一句广告语——“手机、呼机、商务通，一个都不能少！”目前，手机替代了呼机，也几乎替代了商务通。呼机也曾是一场革命，它高速发展了若干年，短信的兴起让寻呼公司轰然坍塌。商务通的流行是一个非常成功



的 MBA 教材式的商业运作，但有了智能手机或者 PDA 手机，人们发现商务通不再是“不能少”的工具了。



电力线也能上网？Yes!

电力线也能上网？答案是：Yes!如图 14-2 所示。电力线上网，学名电力线通信（PLC，Power Line Communication），听起来应该挺新鲜啊。每个刚接触 PLC 的人都会有感慨：原来，我们根本不用铺设那么多的电话线、光纤，只要将电力线有效利用起来就可以通信了啊！其实，事实并非如此！

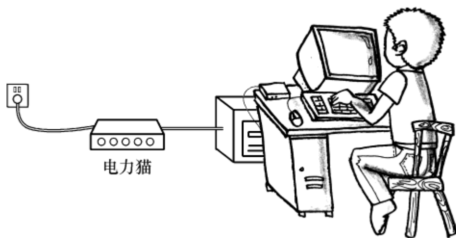


图 14-2　用电力线也能上网

从表面上看，采用电力线承载数据网，就是利用电力线来进行网络数据的传输。只需通过连接在电脑上的“电力猫”，再插入家中任何一个电源插座，就可以实现最高 14Mbit/s 的速度上网冲浪，这一速度可以和目前电信运营商提供的 ADSL 相媲美，看上去很美！

从原理上讲，PLC 是把载有信息的高频加载于电流，把电流当船，信息当货物，接收信息的调制解调器再把高频从电流中分离出来，并传送到计算机或电话，以实现信息传递。而这种技术，并非用电力线全程全网承载数据业务，而是最终的用户接入部分——请注意，最多几百米的距离，采用电力线传送——并在上网计算机前放置一台电力猫，它是类似于 ADSL 猫的一种调制解调设备。一般情况下，光纤到达楼宇配线机房，通过配线机房采用专门的调制设备（类似于 DSLAM）将数据调制到电力线上，并通过电力线传送到各个家庭中去。

目前 PLC 在全球的发展都很低调，美国、日本、英国、韩国等国家都在进行小范围试验，相关的标准也正在制订过程中。



利用有线电视电缆的通信新技术

我国有线电视普及率非常高，因为我国铺设了世界上最庞大的有线电视网络。而有线电视网的最后“一千米”带宽极宽，且覆盖率又远远高于电信网，这让无数通信专家打起了有线电视网的主意。一个家庭往往会先购买电视机，再购买电话机，这就是广电网覆盖更广泛的原因。电信网形成时，只是为了一个业务——打电话，而打电话只要求 64kbit/s 的带宽，所以整个网络的设计也就受到局限。尽管电信运营商采取了 ISDN、xDSL 等技术，使目前的铜线可以做到平均几兆级别的带宽，但提高的余地并不大。再往前走，成本将非常高，而传送距离、传送质量会快速下降。而有线电视网的同轴电缆，其带宽可以很容易做到很高。这就是第 7 章“传送网”一节老杨给各位介绍的广电网双向改造所提及的内容。

用家庭中的 CM 和局端的 CMTS 组成的接入网，在双向改造后的 HFC 网络中用于传送语音、数据业务，是家庭接入互联网的可选项之一（如图 14-3 所示）。而和广电网有关的另外一种带有通信功能的终端是数字电视机顶盒。

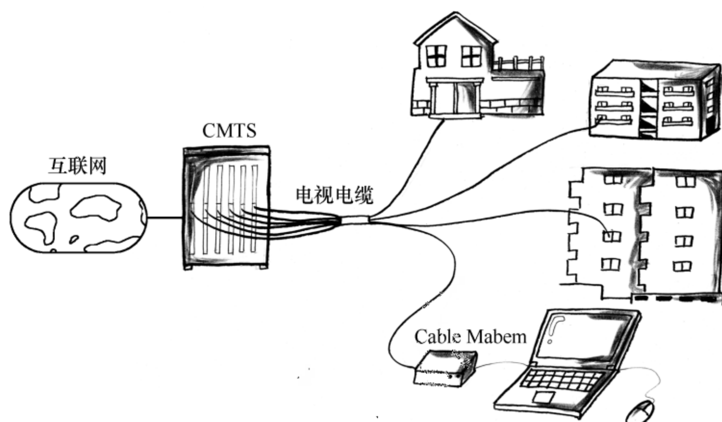


图 14-3　用 Cable Modem 连接互联网

为了了解数字机顶盒，我们有必要对“数字电视”先有一个基本的了解。往往大家最熟悉的东西却最容易被人忽视。电视其实也是符合通信的基本定义，它是一种单向的、广播式的音视频通信终端。平时我们收看到的电视节目是使用模拟信号传送声音图像的模拟电视，而数字电视从节目的采集、录制播出、传输到接收，全部采用数字编码技术，这一点类似通信网技术中的模拟和数字信号的差别。有了数字电视以后，观众不仅能看到 DVD 般清晰的图像，享受到家庭影院般的音响效果，电视频道从几十套增加到几百套，听上数字广播，还能自行选择多样化、专业化、个性化的多媒体服务；比如数字电视可开设独立的、专业的、全天的频道，像电影、汽车、房产、MV、体育等专业频道，并且不插播广告。

而目前市场上销售的绝大多数的所谓“数字电视”，从严格意义上讲，只是数字电视信号显示器（被称为“HDTV READY”），因为这样的数字电视并不能直接收看数字电视节目，还需要再接上一个被称为“机顶盒”的黑匣子，通过黑匣子接收并转换信号格式到电视机上才行。如果没有机顶盒，你的“数字电视”分辨率再高也没有用。未来的“数字电视一体机”则无需机顶盒的支持，它被认为是“真正意义上的数字电视”，而通过机顶盒收看数字电视仅仅是一种过渡性措施。

如今，用户只要在家中加装一台数字电视机顶盒，不必再对家里的有线电视线路和电视机作任何改动，就可以用现在的电视机接收数字电视节目。于是，机顶盒成了当今收看数字电视的必备工具。

需要指出的是，数字电视机的魅力不在于仅仅看看电视，而在于这种基于数字电视平台的业务应用，这些应用将会改变人们许多日常生活习惯。利用双向改造后的 HFC 网络和数字机顶盒技术，可以引入大量交互式应用，如电子节目指南、按次付费观看、VOD、数据广播、Internet 接入、网络游戏、IP 电话、可视电话、股票操作等，还可以利用机顶盒建立家庭网络，将 PC、打印机、传真机、DVD、监控系统等数字设备连接起来。这些都会给电信运营商和广电运营商带来难以估算的增值收入！



第15章 Chapter 15

行业和企业的通信

企业是赚取利润的载体和工具。企业爱财，必须“取之有道”，为了合理合法获取利润，企业的通信手段必须丰富多彩。政府、金融、厂矿、学校等行业用户虽千差万别，但是通信网络建设日益显示出的重要作用却是一致的。行业和企业的主管越来越深刻地意识到，合理的通信网络建设和应用，能够大幅度提高工作效率。

行业和企业中最基本的通信是语音、数据和视频通信，这些通信手段，让人和人之间的交流变得越发顺畅。不需要见面，就可以讨论业务，提高了行业与企业的管理水平和工作效率，节约宝贵的工作时间，并充分发挥了员工的潜力。通信系统，可以使行业和企业把“好钢”都用在刀刃上。

语音是行业和企业内部最基础的通信业务形式。企业一般都会购置一台小交换机（PBX），它一边连接着每个员工桌面上的分机，一边连接着电信运营商 PSTN。交换机在加入了排队功能、CTI[1]功能后，可以成为行业和企业的呼叫中心。

数据通信让行业和企业的信息数字化、专业化，无论是客户资料，还是库存管理，都通过数据通信在人和人之间交流；行业和企业的对外窗口，也通过数据通信使客户和供应商更加便利地与行业和企业沟通；电子邮件、网站都需要数据通信网络作为支撑；OA、ERP、CRM等的实施，都需要借助数据通信网络发挥更大的效能（如图 15-1 所示）。

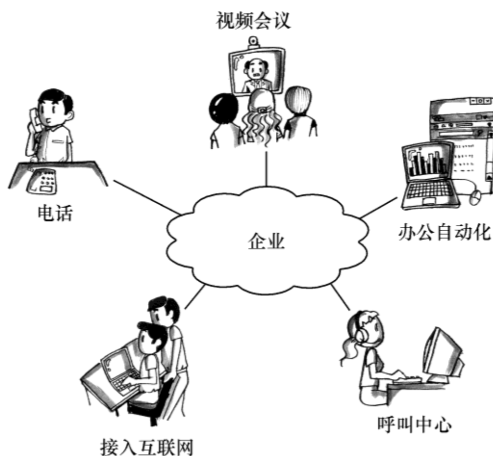


图 15-1　行业企业的通信图

视频的应用使行业和企业通信更加丰富多彩，视频会议、实时监控，都需要利用通信网络传送视频信息到指定的地点。一套符合行业和企业应用习惯的视频会议系统，能够大幅度节省行业和企业的工作效率，减少频繁出差的次数，节省大量的差旅成本。

---

[1] CTI 的英文全称是 Computer Telecommunication Integration，计算机电信集成。

总之，行业和企业的通信系统，少了些娱乐性，多了些专业性。行业专网和企业专网的部署，考虑的是如何提高效率和降低成本，当然，也不排除全球实力 500 强的企业们采用高端通信设备部署自己的通信网，以提升企业自身形象。



行业和企业里的语音通信

1. 电话交换机

一般而言，一个单位如果拥有多部电话，相互之间的语音交流是通过电话交换机来实现的，许多人把功能简单的电话交换机称为“集团电话”。单位里的电话交换机严格意义上应该叫做 PBX，英文全称是 Private Branch Exchange，前两个单词 private 和 branch 分别是“专用”和“分支”的意思。

先说“专用”。一般而言，不考虑运营商商务策略的话，PBX 的产权应该属于行业和企业客户所有。由行业和企业自己购买，自己维护，他们只是租用电信运营商的出局电路（也就是电信运营商拉线路连接到 PBX 上），剩下的事情都由行业和企业自己解决。哪些事情呢？比如行业和企业内部的布线，每个员工桌面的电话机，以及每个号码的分配、总机的设置等。当然，老杨只能说，“一般”情况下是这样的。那么有没有特殊呢？有的！而且随着运营商竞争的加剧，“特殊”的情况越来越多，比如运营商向行业、企业客户租赁 PBX，运营商帮助企业建设、维护内部交换网等，甚至运营商直接部署线路到企业客户的桌面上，从而使行业、企业省去了购买交换机的费用……这些情况都会在特定场合出现，市场本来就无定型，在行业、企业有多个运营商可供选择的时候，它当然选择商务条件最好的一个。

再说说“分支”。每个员工的号码被称为“小号”，这个号码不是电信运营商承认的，但是可以在企业里相互之间拨打。就像一栋楼有一个公众门牌号，邮递员通过此门牌号找到这栋楼，把所有到这栋楼的信函给前台，前台签收就 OK 了。接下来，前台根据信函上的楼层和房间地址信息精确地找到收信人。比如地址是：北京市朝阳区朝阳路 303 号新华大厦 3008 房间。邮递员一般到了新华大厦后，就把该信给前台，前台递交给 3008 房间。

当然，新华大厦可以有很多房间，当某个房间的人（比如老张）走到另外一个房间做自我介绍，只会说“我是 3008 房间的老张”，绝对不会说“我是朝阳区朝阳路 303 号新华大厦 3008 房间的老张”。

那么 PBX 也是一样。行业、企业内部互拨“小号”即可。

如图 15-2 所示，企业前台一般会有一个叫做“话务台”或“总机”的管理机构。当外部电话打进来，需要某个分机接听，前台电话可以自动转接（主叫方根据提示音拨分机号码），也可以人工转接到这个分机上（前台员工帮主叫方拨分机号码）。一般的 PBX 都可以设置这项功能，比如在特定时间，优选人工转接，次选自动转接。有时候读者会很好奇，既然机器能够自动转接，为什么还要做人工转接？这不是个技术问题，而是一种习惯。人的声音更容易让来电的人感觉有人情味儿；前台员工接听来电后，通过按键转入企业内部某个分机；如果是自动转接，来电人将听到一段语音提示，比如“欢迎您致电×× 公司，请直拨分机号，查号请拨 0”，当然还有更加复杂的提示音，这种提示音就是我们前面讲过的 IVR。



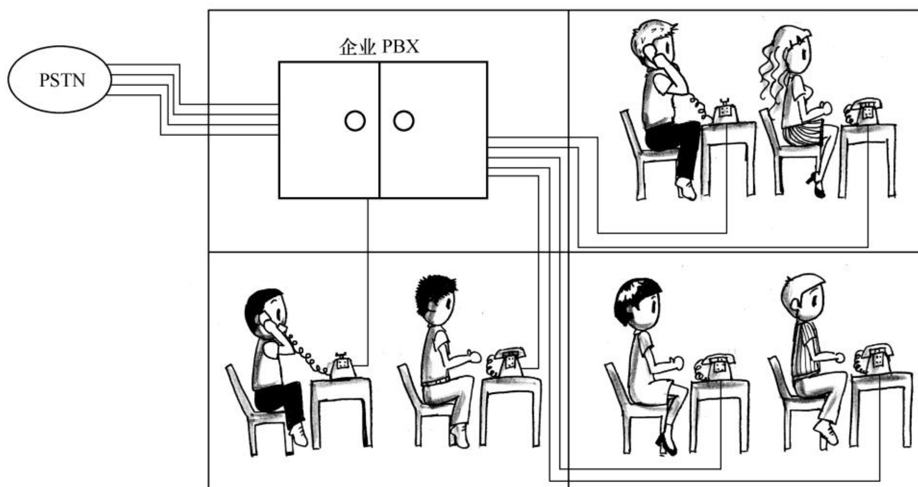


图 15-2　企业用 PBX 拨打电话

当然，PBX 的功能远远不止这些。老杨将向各位介绍一些常用的功能。

- **三方通话**：允许三个人同时通话。这将有助于几个人一起讨论问题。第 9 章已经介绍过该业务。
- **会议**：允许三个以上的人同时通话，由主席进行控制，可以根据需要增加或者踢掉某个人。加入会议的方式，可以是拉某个人进入会议室（比如通过按键拨通某个人的电话），也可以由会议参加人主动加入会议室（这个人通过按键进入某个会议室），如图 15-3 所示。很多会议系统还带有复杂的控制能力，比如主席控制、分组讨论等。

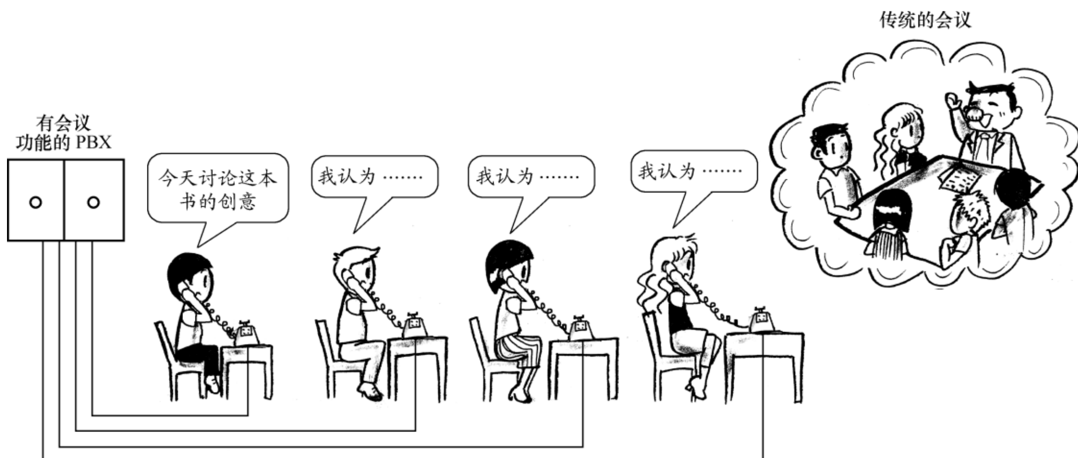


图 15-3　用 PBX 召开会议的图

- **呼叫转移**：分为呼叫前转（如图 15-4 所示）和呼叫后转。第 9 章已经介绍过呼叫前转，这里介绍一下呼叫后转。有时候你与某个客户沟通，发现客户问题所涉及的专业，已经是



你无法回答的，你需要让另外一个更专业的同事来接听，最好的方式就是在通话过程中把电话转移到你的那个同事电话上，这就是呼叫后转——在呼叫建立后转移当前的通话。

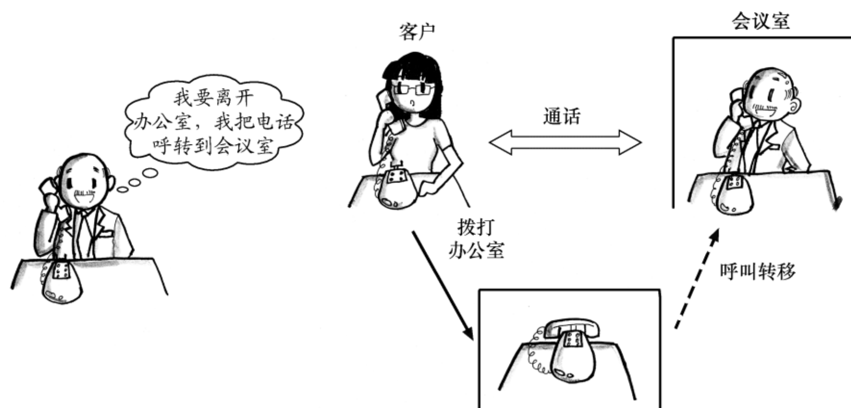


图 15-4　呼叫转移

- **IVR**（如图 15-5 所示）：交互式语音应答，即自动提示音。企业的总机可以设置为自动语音提示，任何打企业电话的人可以通过拨按键，进入某个自动查询的系统，或者实现各种与数据信息相关的应用。比如银行系统通过这种系统查询账户的余额等。

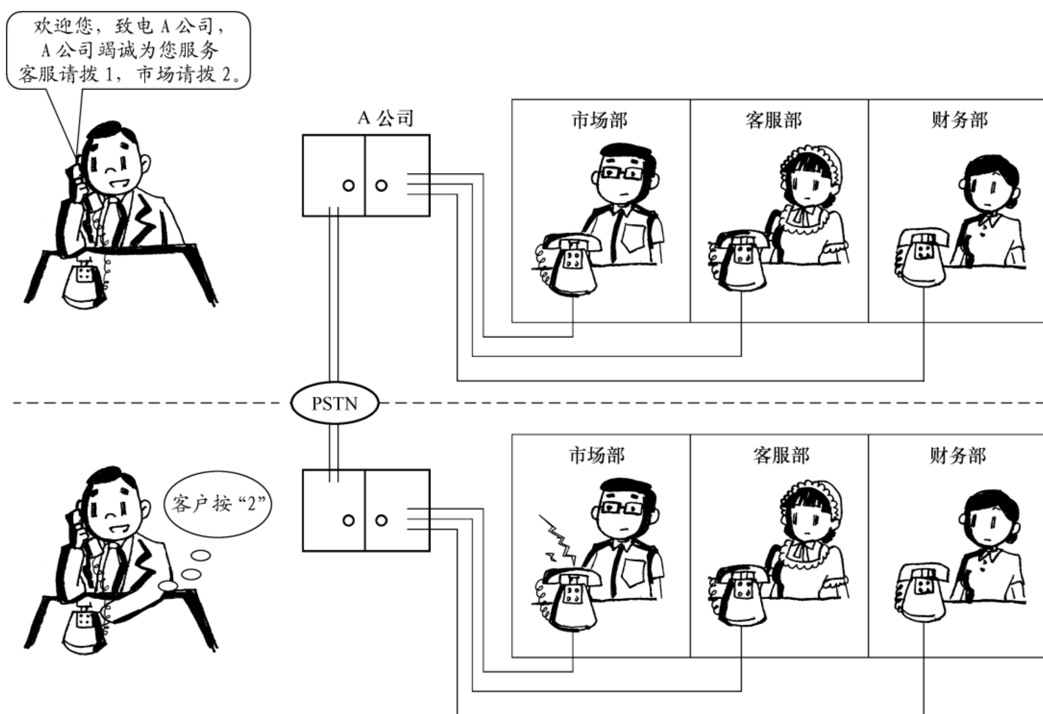


图 15-5　自动语音应答——IVR



- **占线时的来电提醒**（如图 15-6 所示）：正在通话过程中，另外一个电话进来，你的电话会听到连续“嘟嘟”的声音，这就是提醒你，另外一个电话在呼叫你。你可以通过按键把通话切换到新的来电。

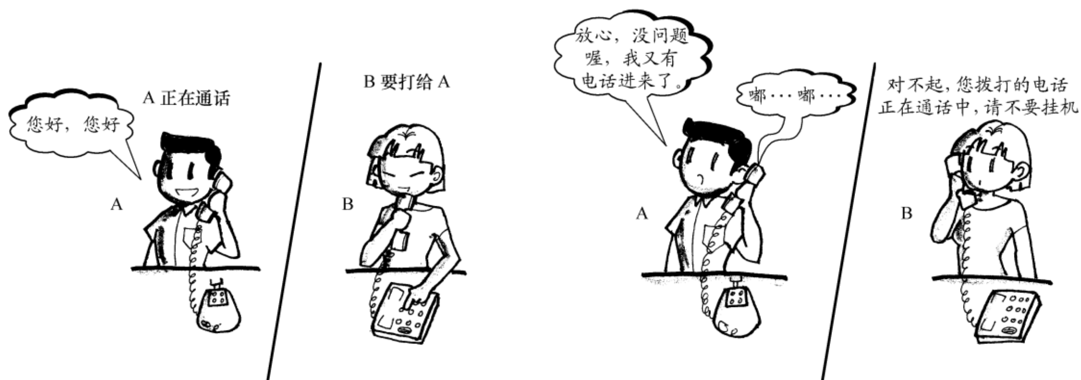


图 15-6　占线时来电提醒

- **录音**：可以对通话进行录音，一般的 PBX 都由录音卡来实现录音。
- **轮循组**（如图 15-7 所示）：若干分机形成一个组，在这个组里面，当一个电话呼叫某个分机，该分机占线，PBX 将自动转到下一个分机，若再占线，继续转到下一个分机去，直到某个分机接听，或者所有分机均占线，提示主叫方被叫正处于占线状态——当然，主叫方未必知道被叫方有轮循组，他的感觉仅仅是被叫方占线。如果有一组人提供同类型的电话服务，客户打到组中的任何成员都是一样的，这种情况下建立轮循组是很必要的。

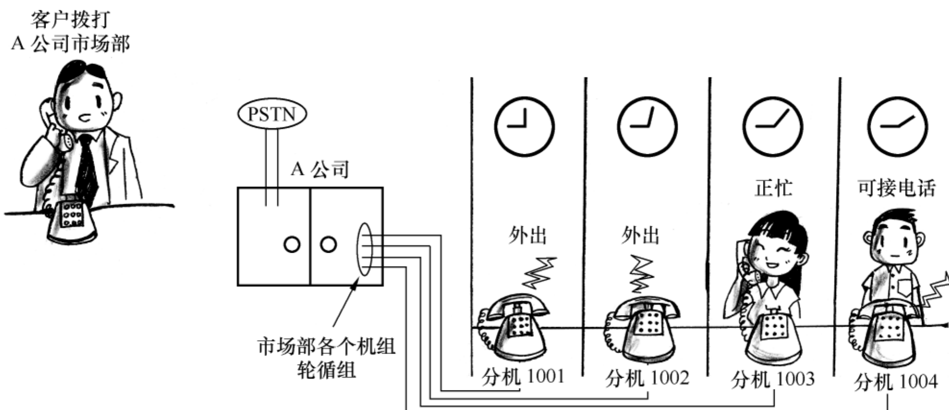


图 15-7　轮循组

- **代接组**（如图 15-8 所示）：若干分机形成一个组，其中一个人不在座位，因而无法接听电话，别人可以操作某些按键，在自己的座位就可以代他接电话。这种组一般

发生在同一个部门的情况下。当一个员工不在，客户把电话打到他的座机上去，这时候代接组就起到了作用——他的同事就可以帮他代接电话。

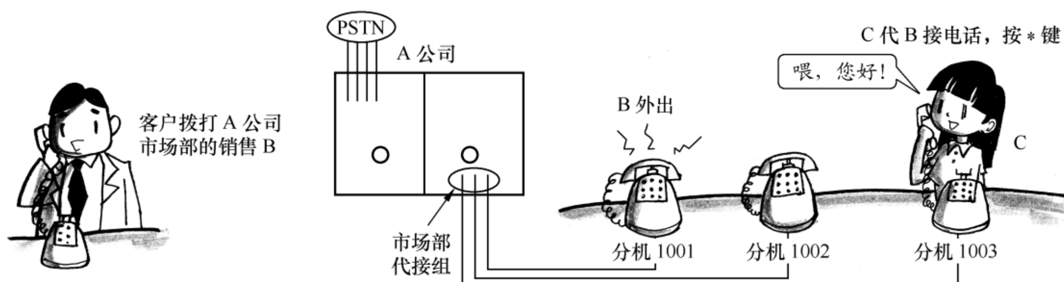


图 15-8　代接组

- **叫醒服务**：第 9 章已经介绍过这种业务。
- **调度功能**（如图 15-9 所示）：在某些行业，交换机应具有调度功能。调度功能，顾名思义，就是能够实现调度作用，而“调度”更多的是人工控制某些呼叫逻辑，比如我们常常听到的强插、强拆功能。如图 15-9 所示的场景，就展示了调度功能能够保证在特殊时刻，具有相关权限的人可以建立起比一般通话优先级高的通话。在公安、政府、石油石化等行业，调度功能是交换机必不可少的功能。

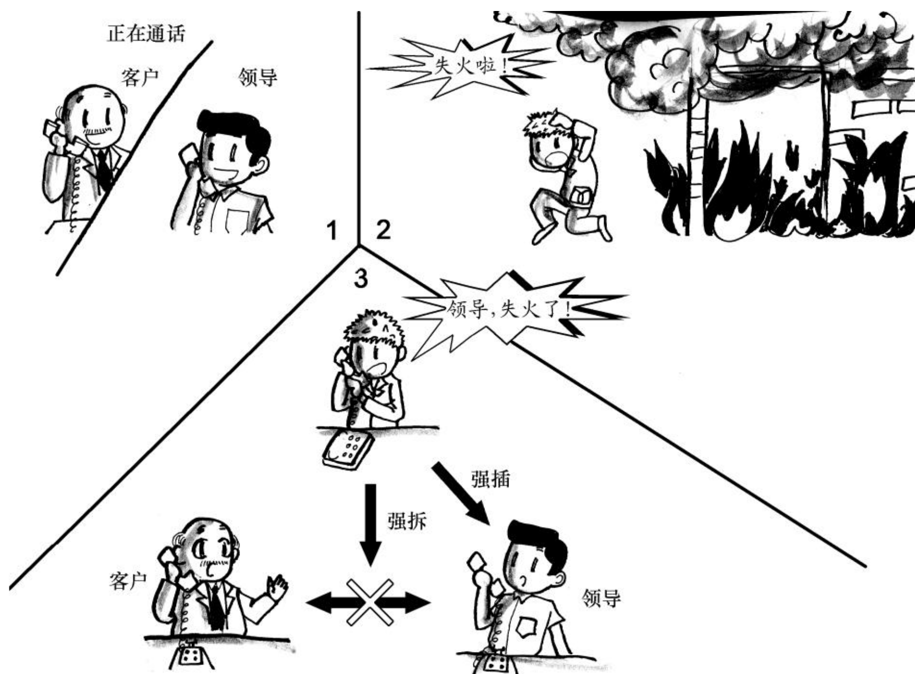


图 15-9　调度功能中的强插、强拆图



上述诸多功能，都由企业自己来管理和使用。目前传统交换机正在被以 IP 技术为核心的语音交换机替代（江湖人称 IP-PBX），第 18 章中会详细讲解。

2. 汇线通业务

前文讲过，并非所有的企业都一定要购置 PBX。对于用户线数较少的企业（SME[2]），几根直线电话就解决了所有的问题。而对于有些企业，电信运营商将电话线直接拉到企业的员工桌面上，也能实现一些呼叫功能，比如相互之间互拨小号、支持企业总机等业务。这种技术被称为“汇线通”业务，很多人喜欢用英文名称——Centrex，也有些运营商称这种方案为“虚拟网”。

在相当长一段时间，汇线通业务倍受强势电信运营商青睐。原因是在这种方式下，企业无须自购 PBX，减少了企业的投入；而运营商采用汇线通方式接入企业，客户不易被其他运营商抢夺。长途话务也不会像 PBX 那样增加一台网关或者拉几根电话线就能“旁路”到其他运营商去。

3. 呼叫中心

企业销售产品，需要电话营销；而卖出产品的服务和投诉，需要接听客户的电话；政府行业，需要给社会大众提供各种信息咨询、投诉、报警等服务。

最简单的解决方案是招聘几个人作为“坐席员”，对他们进行基本的知识和技能的培训，并给每个人分配一部电话连接到 PBX 上，企业把一组电话号码公布出去，坐席员接听客户的来电进行问题解答。这时候问题来了。

某个企业建立了上述模式的系统用于接听客户投诉。这个企业公布了一组号码，每个坐席员的电话号码可能都不相同，对于企业而言，宣传一组号码，却让客户很难记忆；实践证明，企业公布的号码越多，接到的电话却越少。于是企业希望只用一个号码，而每个坐席的电话号码都是一样的，采用轮循的方式呼叫坐席员。当然，轮循方式可以多种多样，比如按顺序呼叫、随机呼叫、历史最闲优先等方式。

另外，一个企业要推销自己的产品，它已经有一批客户的电话号码，希望坐席员能够主动打电话给客户进行产品推广。这时候，企业需要将这批电话号码按照某种方式分配给坐席员（如平均分配），坐席员拨打客户电话，并记录与客户的沟通情况。

人们发现，企业采用这种通信系统，能够从客户服务中获利，用这种方式推销产品也有非常高的效率。于是，顺应电话营销、咨询服务的需求，“呼叫中心”诞生了。随着近年来通信和计算机技术的发展和融合，呼叫中心已经被赋予更新和更广泛的内容：引入 CTI 的概念，使计算机网、数据库和通信网融为一体；IVR 的使用，不仅在很大程度上代替了人工坐席代表的工作，而且使呼叫中心能 24 小时不间断运营；采用分布式技术使人工坐席代表不再集中于一个地方工作。

呼叫中心改变了企业的经营模式。利用呼叫中心，企业可以统计客户需求、总结产品得失、挖掘新的市场需求，从而成为企业盈利的工具。可以说，呼叫中心为企业内部管理、服务、调度和增值起到非常重要的统一协调作用。

---

[2] 英文全称是 Small and Medium Enterprise，中小企业。



因此，呼叫中心迅速成为企业提升服务水平和企业形象的利器。但随着分布式呼叫中心、外包型呼叫中心的兴起，越来越多的中小企业开始提供呼叫中心服务。在通信业逐步的分工细化中，还出现了呼叫中心和业务流程外包服务，简称 BPO。做外包服务的企业，建设呼叫中心系统，招聘和培训服务人员，承包给有呼叫中心需求的企业使用，并从中获取利润。美国知名记者托马斯·弗里德曼在他那本著名的《地球是平的》一书中，就详细讲述了印度的大型托管式呼叫中心的发展盛况。而托管式呼叫中心，恰恰成了经济全球一体化的标志。呼叫中心的合理利用，不正是让这个世界变得“平坦”么？没有阻隔、没有弯曲，任何人与人之间都能近距离地沟通和交流，答疑解惑、友好合作，这也许是呼叫中心的另一层意义吧！也正因此，呼叫中心的简称 CC（Call Center）又被升级成一个更贴切人类思维的词——Contact Center——联络中心。

一般来说，呼叫中心（如图 15-10 所示）的电话分为外呼型（OutBound）和内呼型（InBound）两种。前面介绍的那两个企业，分别就属于上述两类。

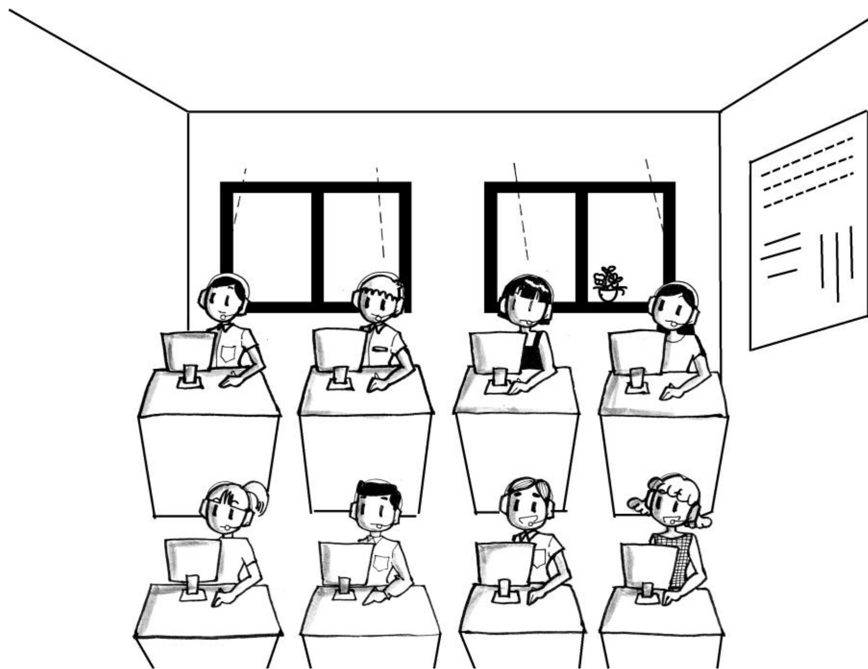


图 15-10　呼叫中心

你可以想象 100 个坐席的呼叫中心，客户来电后，系统需要把电话分配给某一个人。如果这 100 个人空闲，你可以随意指派一个，但是如果已经有 30 个人在接电话，你需要采用轮循技术。轮循的规则可能很多，如果每次都是第一个人接听电话肯定是不行的，这将把第一个人累垮而最后一个人可能一天都没事情可做。较科学的方案是根据当天谁接的电话时间最短，这个电话就转到谁那里，也可以根据业务特点设计电话分配规则。当所有



电话都占线，新的电话进来需要排队等待，系统会给主叫方一段提示音，最好是一段优美的音乐，当某个坐席员空闲，可以立刻把该等待电话接进来。这叫“排队”。这就引入了呼叫中心中一个重要概念——自动呼叫分配（ACD，Automatic Call Distribution），俗称“排队”。ACD 是一种特殊的程控交换机功能，带有 ACD 的交换机，对外与电信机房有中继线接口（模拟线或者 E1 数字中继），对内提供与连接坐席代表话机和自动语音应答设备的内线接口。ACD 的作用就是将外界打来的电话按特定的算法分配给各个坐席代表，算法可以基于话务量、客户通过按键选择的业务类型、闲时或者忙时时长等参数来制定。

CTI 服务器和 ACD 交换机之间的连接被称为“CTI 链路（CTI Link）”，它可能是模拟电话中继或者 ISDN 或者 TCP/IP；从软件协议上讲，CTI 链路协议是一种专用的网络层协议。不同的程控交换机厂家定义了各自不同的 CTI 链路协议，如 Lucent 的 ASAI，Nortel 的 Meridian Link，欧洲的标准 CSTA[3]等。CTI 服务器的一大任务就是处理这些不同的协议，并把它们转化为统一的模式。

如果来电只是查询某张银行卡是否还有余额或者余额多少，可以不用增加坐席员，而采用 IVR 实现。这种情况下，呼叫中心会连接相关的信息数据库，由计算机根据客户按键选择提取数据库中的对应信息，实现自动应答。IVR 设备能识别用户通过双音频话机数字键盘输入的信息，并向用户播放预先录制好的或者利用 TTS[4]技术生成的语音。这样，用户就可以通过电话键盘与 IVR 设备进行交流，获取所需银行卡的余额信息了。

当某个坐席员和客户沟通，客户提出的问题，该坐席员由于专业性问题无法回答，可以请专业人士给予辅导，于是在坐席中需要增加一个“班长坐席”。“班长”一般是技术比较全面的人，辅导每个坐席员向客户提供技术服务。

班长坐席还有更多的功能，如果某个坐席员与客户发生口角（有时候很难避免），班长可以强制切断该坐席员与客户的通话，并让另外一个坐席员与客户继续沟通，要实现此功能，系统必须具备一定的调度功能，包括强插、强拆、转接、代答等。

除此之外，呼叫中心还可以提供自动总机服务及留言、用户数据、计费管理、远程用户端话务台、辅助拨号、来话自动识别与显示以及话务员夜间服务等诸多功能。



企业 IP 应用

现代化企业是不可能没有 IP 局域网的。前文已经描述过局域网的基本原理，本章主要描述 IP 局域网的组网和应用。

1. 企业接入互联网

一般的企业都租赁电信运营商或网络服务提供商的专线带宽，从 DDN 到帧中继到 ATM，从 ISDN 到 ADSL 到 FTTH，企业接入公网的方式不断发展，如图 15-11 所示。

---

[3] CSTA 的英文全称是 Computer Supported Telecommunication Application，计算机支撑电信应用。

[4] TTS 的英文全称是 Text To Speech，文本转语音。

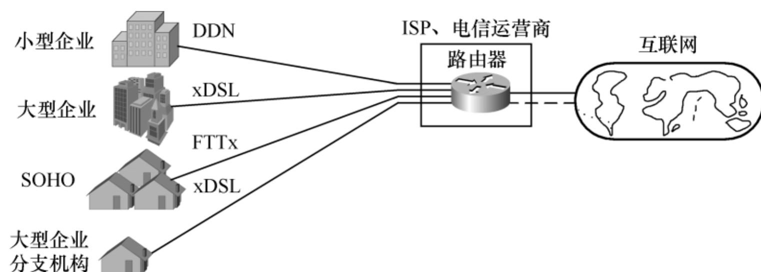


图 15-11　企业接入公共互联网

企业的邮箱服务器一般采取微软的 Exchange Server 或类似的邮箱服务器系统，这种选择可能会很多，由于涉及更多的是计算机服务器系统，这里不再赘述。

企业的 Web 网站可以托管在 IDC 机房，也可以放在企业内部，作为企业对外联系的接口，网站的意义已经越来越大。通过搜索引擎进入企业网站，是客户寻找产品、寻找供应商的最快捷的方式。对于企业而言，网站越专业、越吸引人，就会让更多的顾客找到企业。在这个激烈竞争的商业社会里，网站的力量不可小觑！

2. 企业组建局域网

企业网内部一般是如何组网呢？如图 15-12 所示，企业距离网络服务提供商最近的设备是路由器，它同时可能是一台防火墙，紧随其后的是三层交换机、二层交换机或 HUB。在路由器和防火墙内侧，根据各个企业情况不同，有各种应用服务器，包括文件服务器、DHCP[5] 服务器、邮箱服务器、Web 服务器、录音服务器等。当然，很多企业都在使用 ISP 提供的邮箱服务器、Web 服务器等。互联网的应用模式千差万别，服务提供商提供的模式也丰富多彩，企业网具有多种选择，是很自然的事。

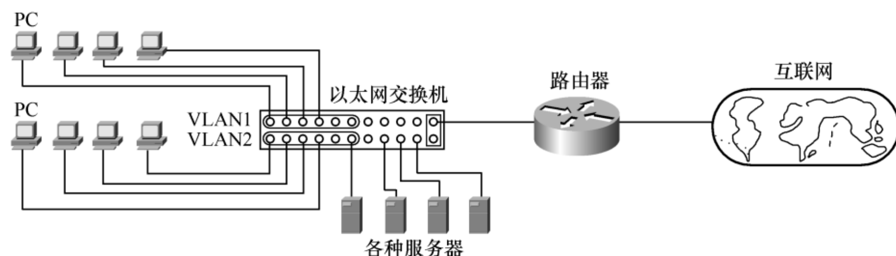


图 15-12　企业局域网的组建

从企业应用角度讲，标准的企业邮箱、内容丰富而更新及时的企业网页是现代化企业必备的“门面”。很多人都能通过企业的这些细节看出这家公司的规模和实力。

在企业网内部，每个员工的计算机都可能通过 DHCP 获取 IP 地址，也可能采用人为指定的方式分配 IP 地址。当然，人为指定 IP 地址的缺陷是容易发生 IP 地址冲突。在不同的部门

[5] DHCP 的英文全称是 Dynamic Host Control Protocol，动态主机控制协议。企业一般用 DHCP 自动分配计算机的 IP 地址和 DNS 地址。



或者分公司，可以分配不同的 IP 地址段，以保证各自内部信息通畅，线路带宽充裕。VLAN 技术可以很好地解决不同部门之间的数据隔离问题，并有效防止网络风暴的发生。

一般来说，企业的防火墙用来管理企业的数据不会因外部的攻击而销毁，同时控制公司内部的各种软件的应用。比如某些企业不允许公司员工使用来自外部的即时通信工具，如 QQ、MSN 等，要解决这类问题，只需在企业的防火墙上关闭某些逻辑端口。

3. 企业办公通信应用

企业是通信网络最大的客户群。企业的通信要求及时、快速、有效，那么有了电话交换机、局域网和呼叫中心，企业还有基于上述几种基本通信手段上的具体应用。

除了在 IP 局域网一节已经描述过的邮箱外，还有 CRM、ERP、OA 等系统（如图 15-13 所示）在网络上运行，它们可能和 PBX、呼叫中心相结合，也可能是相互独立的系统，这取决于“统一通信”（第 18 章会介绍）的部署进程。

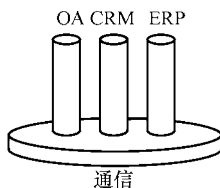


图 15-13　CRM、ERP、OA 以通信为基础

客户资源管理（CRM，Customer Relationship Management）是管理企业客户信息的数据系统。当今的很多行业都采用“数据库营销”，就是按照庞大的客户信息列表拨打客户电话，与客户沟通，从中获取有价值的客户并进行产品推销。

企业资源计划（ERP，Enterprice Resource Plan）是管理企业进销存信息的数据系统。是现代化企业管理的重要支撑系统。

办公自动化（OA，Office Automatic）是企业办公环境自动化、智能化的平台，OA 可能包括邮件子系统、催办子系统、公告子系统、会议子系统、文件传送子系统等，OA 系统在企业提高工作效率、节省办公纸张、减少部门间扯皮现象等方面都做出了巨大贡献。

上述的几种系统，都由专业的软件作为支撑，越是成规模重管理的企业，越离不开 CRM、ERP、OA。这些软件，目前可能还只是作为企业数据交互的一个独立平台承载在局域网环境中。随着统一通信的部署，这些应用将和企业通信的关系越来越密切，并为企业的增值和赢利提供越来越重要的决策参考。



视频会议系统

人们对于交流的需求是全方位的，除了需要通过语音方式交流外，也希望在某些场合可以通过视频通信技术进行交流，创造一种“身临其境”或者“面对面”的感觉。与此同时，视频会议应能够实现不同区域的参与性、即时性和交互性。

通过远程视频会议系统召开网络会议的规模可大可小。对于大规模的会场型会议，使用者一般通过投影仪或大屏幕彩电显示各个会场的图像，可以在同一屏幕显示多方的视频图像，视频和语音的清晰和流畅性来自于系统本身的性能，当然，性能又决定了价格。对于人数不多的小型会议，组织者无须建立专门的会议室，通过办公电脑加装摄像头和软件



即可开会。

需求不断发展。辅助性功能逐渐进入人们的基本需求行列。目前很多会议系统都可以支持 Office 软件和桌面的共享以及远程控制，同时提供电子白板和文件分发功能。开会的时候，主持人可以在自己的头像和 PowerPoint 制作的讲义之间做切换，让听众更加容易理解所讲内容。

在企业中应用视频会议，可以实现总部与分支机构工作讨论、协同办公、远程技术支持等应用。

视频会议是一种有助于提高环保、增加安全性的业务，它的合理运用，可以大量节约政府、企业、事业单位差旅费用，并提高办公效率，也减少交通堵塞、客运压力、酒店消耗。视频会议成了企业经营的一种新的手段，它集经济效益和社会效益于一身。按照传统的大一统的管理方式，总部下设若干部门和分支机构，各分支机构由于各种原因，常常需要向上级单位请求业务指导和技术支持。传统的做法只能通过电话或者文字描述的方式，比如打报告、递公文等，问题解决的周期比较长；而采用视频会议后，情况将大为改观。

当然，视频会议的用途越来越广泛，其很多应用未必真的是"会议"，医疗、购物、交友、真人游戏等都可以在视频会议基础上进行。

视频会议的客户端不断扩展。从计算机、电视机到手机、PDA 等，都有可能成为会议的客户端。现在应用较多的是基于 PC 的 IE 浏览器方式的客户端，过去 GUI[6] 方式的客户端很多，硬件的视频会议终端在全球都有广泛应用；在国内，以 QQ 为视频聊天工具成为大量年轻人的喜好。

视频会议一般由视频终端、多点控制单元（MCU，Multi-point Control Unit）、GK 或者软交换组成，并采用 H.323 协议为主，这两年随着 NGN 建设的加速，视频会议系统越来越多地采用 SIP 协议。视频会议系统已经成为目前最热门的通信技术之一，在企业的应用中也越来越广泛。

在第 2 章，我们已经对视频会议系统已经做了比较详细的描述。要知道，企业的视频会议系统，技术实现手段很多，产品也有明显差异。对于小的办事机构，甚至可以采用 QQ 这样的 IM 视频聊天工具进行相互间的沟通，但对于稍微大一点的企业，这种做法就有点"小儿科"了。

目前在互联网上还有基于 Web 的视频会议服务系统提供，比如著名的思科 WebEx 系统，它是"随需网络视频会议"的开路先锋，为客户提供专为业务功能而优化的专业网络视频会议解决方案。你的企业无需安装软件或购买硬件，也不用考虑每个员工采用的是 Windows、Macintosh、Linux 还是 Solaris，只需单击鼠标就可以开始会议（当然要付费啦），并且能够提供足够的安全性。

[6] GUI 的英文全称是 Graphic User Interface，图形用户界面。





老杨有话说——行业和企业通信带给我们的启示

如图 15-14 所示，企业员工被紧紧包围在各种办公软件和通信系统之中。现代化的企业，人们已经愈发认识到通信对效率和效益的巨大推动作用。

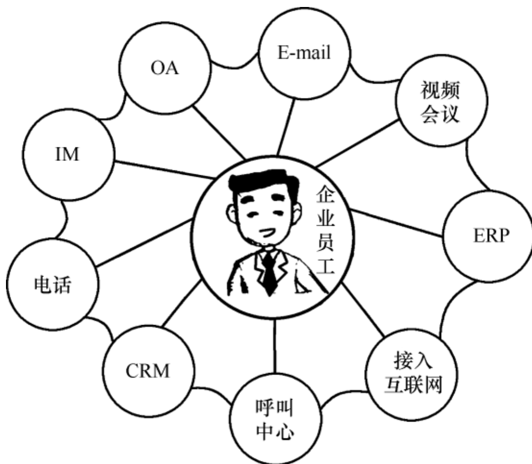


图 15-14　企业员工的办公通信环境

通过对行业和企业通信的交流，我们从哲学意义上，可以获得一些与“人”、“机器”相互关系的启示。

- “现代化”就是要把人“机械化”，机械“人性化”。
- “自动化”就是要把人“标准化”，机械“智能化”。
- “以人为本”就是要把人“统一化”，机械“个性化”。
- 人工智能并不是完全由机械替代人的劳动，因为过度依赖机械，会造成过高的成本，并且让所有参与者感到冷若冰霜，而人参与其中的“人工智能”将更加具有实践意义。
- 不得不承认，人发明机械的初衷之一就是认识自己，可人类却总在发展过程中迷失了自己。同时，人类一边在享受物质文明带来的成果，一边忍受着因物质文明建设而带来的大量副作用，比如个人隐私越来越难以保护。



第16章

Chapter 16

丰富的电信业务

> 如果你爱他，就把他送到纽约，因为那里是天堂；如果你恨他，就把他送到纽约，因为那里是地狱！
>
> ——佚名
>
> 如果你爱他，就让他去做电信增值业务，因为那里是天堂；如果你恨他，就让他做电信增值业务，因为那里是地狱！
>
> ——老杨

在通信网提供的若干服务中，有属于基础电信业务的，也有属于增值电信业务的。它们是电信运营商和增值服务提供商为广大消费者或其他电信运营商和增值服务提供商制造的“产品”，这个产品，无色、无味、无嗅，却色彩缤纷呈、亦真亦幻、千奇百怪、瞬息万变。

回到十年前，当人们提到电信业务，可以分门别类地把每种业务个体放到不同的网络形态中——固定网的业务、移动网的业务、数据网的业务，等等。而今天，这样的分类越来越不合时宜。网络的融合和业务的融合，让固定网、移动网、数据网甚至电视网的距离越来越近，各自独立的状况正在微妙地发生变化。科技的发展，让它们变得你中有我，我中有你。彩铃业务并不是只和移动网有关，你看看今天的互联网门户网站，有几个不提供彩铃下载的？MSN 对话，也不仅仅是互联网增值业务，用手机实现和 MSN 的对聊早已成为现实……这样的例子举不胜举。作为通信技术所有原理、规范、定义、协议的作用结果，电信业务成为通信网的产品，老杨认为很有必要对这一系列产品用独立的章节予以描述。

“明知山有虎，偏向虎山行”，电信业务的健康发展离不开科学、严格的分类。因此本章，我们还得先从电信业务的分类讲起。



电信业务的定义和分类

让我们先看看“电信业务”的标准定义：为了满足特定的电信需求，由主管部门或者经过认可的经营机构向其客户提供的服务。这个定义严谨、科学，并且空洞、乏味。从学习的角度，距离用户近的电信业务更容易让大众理解；距离用户较远的，大众理解起来就会有困



难。老杨就一直非常好奇，贝尔先生是如何给没有打过电话的人介绍何谓“电话业务”的。

电信业务分类的目的是管理。

比如按照服务能力分类，电信业务分为承载业务、用户终端业务和补充业务。其中，补充业务包括：号码识别类、呼叫提供类、呼叫完成类、多方呼叫类、集团通信类、计费类、附加信息传递类等几种类型。业务名称的确有点让人摸不着头脑，虽然每种业务类型我们都可能都经常应用。

承载业务的用户群可以是电信网本身，也可以是企业用户，比如用 SDH 网络承载语音业务，DWDM 承载 IP 业务等，都属于一种技术体制“搭载”在另外一种技术体制之上，并不是直接向最终用户提供服务；而企业分支机构 PBX 的互连，一般用 DDN 实现，这也属于承载业务，但它是向最终用户——企业——提供业务的。

用户终端业务一般指家庭、个人接入 PSTN、接入互联网、接入移动网等。这是距离最终用户最近的业务类型，比如办理了入网手续后，可以使用移动运营商提供的手机语音和短信业务。

补充业务种类繁多，并且发展迅速。来电显示、会议电话、彩铃、彩信等，它们都是语音、数据业务的附属业务，是对单调的基本通话和数据业务的“补充”。它们距离最终用户也非常近。

上述分类方式有助于我们理解电信网的构架，而对电信界的监管产生影响的分类方式，是将电信业务分为基础电信业务和增值电信业务。接下来的两节，老杨将对这两者做详细描述。



基础电信业务

基础电信业务和增值电信业务是由电信监管部门定义的，其定义处于不断的发展变化中。理解通信行业，首先要理解国家政策，不论你在中国还是在澳洲或是在美国。哪种业务属于基础电信业务，哪些属于增值电信业务，这不是自然科学的范畴，而是根据历史进程和市场规律进行人为定义。也就是说，存在这样的可能性，今天的增值电信业务，明天有可能被重新定义为基础电信业务。

好，让我们先看看原信息产业部（今天的工业和信息化部）对基础电信业务的定义吧。2003 年 4 月，原信息产业部重新调整的《中华人民共和国电信条例》所附的《电信业务分类目录》，将基础电信业务分成“第一类基础电信业务”和“第二类基础电信业务”进行管理。

第一类基础电信业务需要建设全国性的网络，影响用户的范围非常广，关系到国家安全和经济安全，国家会控制这类业务以避免重复建设。我们说，土地、能源的重要性，关系到国家安全和经济安全，而第一类基础电信业务的重要性，和土地、能源属于一个级别！

第二类基础电信业务对上述因素的影响程度相对小些，政府会根据市场发展需求和电信资源有效配置等因素和原则，逐步创造条件向社会开放。

以下列举几个具体业务名称，帮助理解上述定义。

1. 第一类基础电信业务

（1）固定通信业务

指通信终端设备属于“固定”性质。为什么必须固定呢？是因为采用电缆、光缆方式连接，通信终端无法大范围移动——当然，把电话机从桌子这头拉到那头，那不是移动，相信不会有如此较真儿的人来质疑“固定”二字吧！这类终端有普通电话机、IP 电话终端、传真



机、无绳电话机、连网计算机等电话网和数据网终端设备。

（2）移动通信业务

通信终端可以长距离移动的业务叫做移动通信业务。移动通信业务包含 1G、2G、3G、4G 等——很多人会问了，老杨，不对吧，这哪是业务啊，这分明是移动通信历史么！是的，是历史，也是业务分类。每种业务都要有专门的执照，比如中国联通在拥有 3G 运营牌照以前，是不能开放其 WCDMA 业务的。

另外一个模棱两可的问题是，PHS 算固定通信还是移动通信？人为规定又起到了作用。作为固网的移动延伸，PHS 算作是固网业务，而实际上，它已经被当作移动终端来使用。在这里，老杨只能沿用官方对 PHS 的说法——它属于固定通信业务。

（3）第一类卫星通信业务

好家伙！原来卫星通信也属于第一类基础电信业务！是的，卫星通信经过通信卫星和地球站组成的卫星通信网络提供话音、数据、视频图像等业务。第一类卫星通信业务包括卫星移动通信业务和卫星国际专线业务。

（4）第一类数据通信业务

数据通信业务是通过互联网、帧中继、ATM、DDN 等技术体制提供的各类数据传送业务。第一类数据通信业务包括互联网数据传送业务、国际数据通信业务、公众电报和用户电报业务。

2. 第二类基础电信业务

（1）集群通信业务

这种为多个部门、单位等集团用户提供专用指挥调度的业务，属于基础电信业务。

（2）无线寻呼业务

无线寻呼业务正逐渐淡出中国通信市场，但它依然是基础电信业务。

（3）第二类卫星通信业务

这类业务包括卫星转发器出租、出售业务、国内 VSAT 通信业务。卫星的移动通信和国际租线是第一类基础电信业务，而卫星转发器相关的租售业务被定义为第二类业务，这其实和数据业务分为两类是类似的。

（4）第二类数据通信业务

指固定网国内数据传送业务、无线数据传送业务，包括拨号、ADSL、GPRS、Wi-Fi、CDMA1.X 等。注意，这类业务与第一类业务的区别是它们可以开展本地经营，而不像第一类数据业务必须具备全程全网的概念。

（5）网络接入业务

特指无线接入业务、用户驻地网业务。

（6）国内通信设施服务业务

指出租、出售国内通信设施的业务。

（7）网络托管业务

指受用户委托，代管用户自有或租用的国内网络或设备，包括为用户提供设备的放置、网络



的管理、运行和维护等服务，以及为用户提供互连互通和其他网络应用的管理和维护服务。这一般是提供给大企业客户的业务。

基础电信业务的特点，用两个字形容就是“基础”，无论从网络形态还是业务模式，都相对基本，都是满足客户基础需求的，是电信业务的“第一产业”。



增值电信业务

增值电信业务不仅仅是个技术名词，更多的是个政策名词，它是电信业务中的第二、三产业。不同国家的电信监管机构、电信运营商以及电信贸易谈判中给出的定义和范围界定都略有不同。随着电信技术和电信业务的飞速发展，增值电信业务的范围已越来越广。

我国对增值电信业务的分类如下：

（1）固定电话网增值电信业务：包括电话信息服务、呼叫中心服务、语音信箱、可视电话会议服务；

（2）移动网增值电信业务，如彩铃、彩信、手机游戏、手机报纸等；

（3）卫星网增值电信业务；

（4）互联网增值电信业务：包括 IDC、信息服务、虚拟专用网、CDN、会议电视图像服务、托管式呼叫中心和其他互联网增值电信业务；

（5）其他数据传送网络增值电信业务：包括计算机信息服务、电子数据交换、语音信箱、电子邮件、传真存储转发。

有一些业务界定并不那么容易。比如基础电信业务和增值电信业务中都有移动网增值业务，那么短信属于哪种类型呢？在大部分的电信监管部门的定义中，是这样区分的：短信业务，利用第二代或第三代移动蜂窝网络和消息平台提供的移动台发起、移动台接收的短信业务，属于基础电信业务。因此，对于客户之间通过手机直接发送短信，属于基础电信业务。采用移动“飞信”，可以通过互联网发送短信，这就改变了发送的主体；用短信给“超级女声”投票，发送的内容和客体发生变化；将互联网门户网站上罗列的短信写手撰写的短信发送给朋友，发送的形式发生了变化，这些都属于增值电信业务范畴。

看上去相同的结果——对方都收到了短信，却在分类上有如此大的差异！实际上，之所以要有关于基础业务和增值业务的定义，是为了区别每类电信服务商的经营范围，这有利于对电信领域的监管，规避因电信业务引起的各种社会和经济问题，而与技术实现方式的关系并不很大。

电信业务是社会人群的口舌和耳朵，是敏感的表达和感受器官，关系到国家的稳定和安全、社会的团结与和谐，各国政府对其进行严格的定义和规范，是非常必要的。前面提到过，通信有助于企业提高效率并增加利润，但是这是把双刃剑——犯罪分子也可以利用通信提高为非作歹的效率并获取不义之财。

在我国，基础电信运营商（中国电信、中国移动和中国联通）和获得工业和信息化部授权的增值服务提供商都可以提供增值业务。近年来，增值电信业务不断发展，增值服务提供商正在走向规范化，并推出了大量吸引客户的业务。比如以短信、彩铃和彩信为基础的诸多增值业务，它们动感

十足，活力四射，发展迅速，创新不断，加上多种网络形态的不断融合，更焕发出强大的生命力！



增值业务举例

从通信网诞生起，增值业务就不可避免地存在了。传统增值业务中，在智能网和七号信令网以及未来 NGN 的基础上，800、400 业务，IC 卡、IP 卡业务、会议系统、分布式呼叫中心、移动 IM 等已经成为电信运营商和增值服务商向社会公众提供的业务。

1. 800 业务——放心打吧，我买单！

一般的固定电话，收费模式都是以主叫方付费，被叫方免费。而 800 电话正好相反，由被叫方付费，主叫方免费。可以想象，让被叫方付费，绝对不是“冤大头”，而是被叫方出于企业形象、服务客户的考虑，为主叫用户“买单”，这是不是有点“周瑜打黄盖，一个愿打，一个愿挨”的味道？

企业打铺天盖地的广告、电视购物在电视台垃圾时间的激情宣传，图什么呢？还不是期待客户给企业打电话、购买商品吗？怎么让客户更愿意拨打企业电话呢？替客户交通话的费用，就会吸引更多的客户打电话过来，这不正好符合企业的利益吗？

800 就是在这种需求下诞生的。

最初的 800，是美国编号计划为 Freephone（被叫集中付费）业务分配的业务代码，简称 800 业务。这项业务在 1967 年就被推出。请大家记住，800 是最早出现的智能业务！

从技术上讲，当前 800 业务都是由运营商的智能网实现的，确切地说，智能网控制了 PSTN 的计费环节。当固定电话拨打 800 号码，主叫方不计费，而被叫方承担本应由主叫方支付的市话和长话费用。移动电话拨打 800 号码，在国内，是无法打通的。这和运营商之间结算有关。

800 号码作为高端企业的象征，承担高额的电话费用，具有一定风险。这项业务被许多企业作为一种经营工具广泛应用于广告效果调查、顾客问询、新产品介绍、职员招聘、公共信息提供等。800 号码是由固网运营商总部统一管理，由 10 位组成（如思科中国的售前技术支持电话 800—810—5200），任何分公司都不能修改资费、调整话务路由。

2. 400 业务——我们分摊吧，我出长途费！

400 号码也是企业的形象号码，只是 400 号码给企业降低了一定的话费压力。它不是由企业全部负担，而是由主叫方和被叫方分担费用。400 号码的总长度为 10 位，比如如家快捷酒店的订房电话 400—820—3333。任何拨打 400 号码的客户只承担市话费用，而若被叫为长途，长途费用由被叫方承担。

400 号码可以由手机和固定电话拨打，这一点与 800 电话不完全相同。400 号码开通区域广，适用的终端类型广泛，并且有效遏制了恶意呼叫（恶意呼叫者也要承担费用），对企业的成本压力较 800 号码小，经过运营商多年的宣传攻势，越来越多的企业都在选用 400 号码。

3. Voicemail——找不到我，给我留言！

被叫无法接听的电话，可以用语音信箱将其保存，在方便的时候，被叫方通过输入相关个人信息来听取主叫方的留言。这就是 Voicemail（如图 16-1 所示），中文翻译是“语音信箱”。



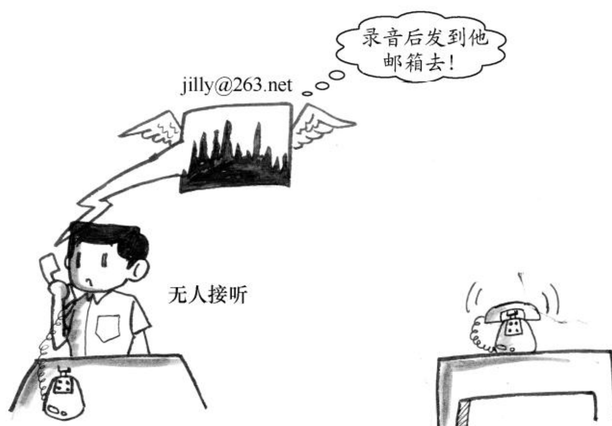


图 16-1　Voicemail——语音邮箱

Voicemail 在欧、美、韩、日应用非常广泛，在我国一直没有大规模应用，这可能和中国人的性格有关，就像短信业务在中国爆发，而在欧美则没有这么流行一样。一般来说，Voicemail 是伴随着其他服务一起应用的。比如和电话轮循相结合，客户打不通某组电话中的任何一个以后，才将电话转移到 Voicemail 上。

4．一号通——“一号永逸”！

现代化都市的人，每个人都可能有几个电话号码——这种情况越来越多。而有的人在两地工作，比如老杨，有时候在北京，有时候在上海，在每个地方都有一个手机号码，以节省高昂的漫游费，而这么多的号码，无论印刷到名片上，还是让客户记录下来，都是一件繁琐的事情。还有，当一个员工从公司离职，他将带走自己的手机号码，而很多客户都是通过这个员工的手机联系该公司的，这势必会造成企业客户的流失。

“一号通”就是在这种需求下诞生的。使用该业务的人只需要公布一个电话号码，这个号码可以在不同的时段、不同的场合呼叫转移到不同的电话上去。

有时候，需要在临时一段时间内向公众公布一个号码，而过了这段时间之后，该号码将取消。比如你有房屋要出租，在 BBS 上留下了你的号码，但是房子租出去之后，还会有不了解情况的人给你打电话。怎么办呢？一些增值服务提供商会向你提供一个临时的号码，这个号码可以呼叫转移到你现在的电话上。当你租的房子租出去后，可以把该号码取消。增值服务提供商将该号码保留一段时间（比如半年到一年），再出租给其他客户。

运营商提供的一号通业务越来越丰富，用户甚至可以根据时间（如“工作日的上午 8：00 到 12：00”）、周期（如“每周如此”）、条件（比如“若固定电话占线”）等，设置呼转的目的号码（如某个手机号码、固定电话号码、有的还可以包括分机号）。

5．CTI 技术及其应用——从 IVR 到呼叫中心

上一章就提到 CTI 这个词，它过去被称为 Computer Telephone Integration，“计算机电话集成”，从名字的改变可以看出行业的变迁。开始，计算机和电话系统做简单的集

成，后来计算机和电话系统的七大姑八大姨们做集成，于是 CTI 的“T”从 Telephone 扩展到了 Telecommunication，也就是说，计算机可以和短信、彩铃、数据通信等电信领域的技术和业务配合，充分发挥信息领域和电信领域的优势，为企业通信提供更完美的实施方案。

在大量的电信增值应用中，CTI 技术是与计算机技术结合最紧密的业务之一，它涵盖了数据通信网络及传统语音通信网络的诸多内容。

为了更加清晰地了解 CTI 技术的原理和硬件、软件厂家的情况，我们举一个银行系统的例子来说明。



银行储户小周希望了解自己的银行卡余额，于是她拨打某行电话 9****，系统提示“普通话请按 1，English Please press 2”——还记得这种提示音的“学名”吗？对！IVR！小周是中国人，因此按 1 键（当然不排除小周是华裔美国人，她只懂英文而不懂中文，那就要按 2 键了），系统提示“请输入您的卡号，按#号键结束”，她输入自己的卡号并用“#”结束输入，系统提示“请输入您的密码，按#号键结束”，她输入自己的密码并用“#”结束输入，系统提示“输入正确。查询余额请按 1，人工服务请按 2”，下面就有两种情况：若她输入“1”，系统提示“您卡上的余额还有 345 元 4 角 8 分”；若她输入“2”，系统将自动把电话转接到某个坐席员，小周就可以向坐席员咨询更详细的有关自己银行卡的信息。

该服务是由银行 B 提供的，银行需要建设一套呼叫中心系统。这家银行会以招标的形式购买一家呼叫中心供应商的软件来实现这个功能并提供上述服务。

呼叫中心厂家一般是软件提供商或者系统集成商，我们姑且认为这就是个软件提供商，命名为 S。

呼叫中心厂家 S 会采用特定供应商 C 的板卡或者交换机，并利用厂家 C 提供的 API 函数开发了通用型的中间件。在银行 B 的项目中，S 利用已经开发好的中间件，快速定制客户业务，这包括实现 IVR、连接与银行数据库接口、创建语音菜单等功能。

这个案例中还有个关键技术，在呼叫中心中应用也比较广泛。当客户查询自己卡上的账号余额，系统会根据账号和密码，把数据库的对应信息提供给客户，并且使用 TTS[1]技术“读”给客户听。

CTI 的硬件平台一般是语音卡，以 Dialogic、东进、三汇等为代表的语音卡厂家开发出各种接口类型的语音卡并提供整套的 API 接口函数。软件厂家利用这些 API 接口函数，制作各种中间件产品，如图 16-2 所示。

[1] Text To Speech，文本转语音技术。目前国内最强的 TTS 软件之一是由科大讯飞等企业提供的，TTS 可以将文字翻译成普通话、广东话以及各地方言。当然，在不同的国家，TTS 技术也可以将其他文本转换为声音。



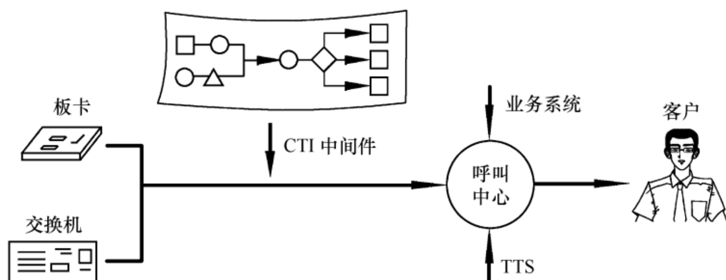


图 16-2　CTI、呼叫中心的行业价值链

CTI 应用，一般都是企业客户自己建设。而电信运营商采用 CTI 技术，可以让客户自服务查询话费账单。别小看这 CTI 的应用啊，“以人为本”不是嘴上说说，而是要通过技术手段真正应用到我们日常的生活中来！

今天丰富多彩的语音应用，很多都和 CTI 密不可分。股票、银行、救险、咨询、购物、家电维修，我们身边到处都是 CTI，就看你是否仔细去观察了。

实际上，即使把 CTI 理解为计算机与电信的集成，都已经有些落伍。计算机领域已经引入了通信技术，在电信设备中也增加了计算机技术的应用，它们已经融合在一起，根本无须“集成”!

6. 彩信——信，真的是彩色的吗?

移动增值业务中，除了短信，就数彩信和彩铃深入人心了。

先说说彩信吧。彩信的学名叫做多媒体消息业务（MMS，Multimedia Message Service）。MMS 是通过移动通信中的数据通道传送的，比如 2G 中通过 GPRS 和 CDMA1.X 信道。客户要开通 MMS，必须先申请 GPRS 和 CDMA1.X 服务。由于传送的不仅仅是文字，因此彩信比短信的内容更加丰富和精彩！

我们列举两个 SP 提供的业务吧。把自己的姓名发送到某个号码，就可以获得“专家”为你设计的签名。签名龙飞凤舞，这是利用 MMS 技术发送的图片而非某种特殊字体。把自己喜爱的汽车型号发送到某个号码，就可以获取这款汽车的多角度照片。

严格地说，彩信只是一种多媒体消息的技术形态，而彩信所包含的内容才是真正的“业务”。短信、彩信都像是高速公路，而真正体现价值的，是高速公路上奔跑着的汽车上满载乘客、货物的过程，这才是“业务”。

彩信需要手机终端支持，其兼容性问题与手机充电器的兼容性问题一样难以在短期内彻底解决。科技发展太快了，一些东西还没来得及制定标准，产品已经满天飞。每种手机终端的分辨率、操作系统都不完全相同，很多参数都或多或少有差异，这就造成彩信互发有一定的技术壁垒。

7. IC 卡电话业务——街边消失的电话亭

20 世纪 80 年代开始，IC 卡电话机就在中国许多城市的大街小巷“亭亭玉立”。你只要买一张 IC 卡（在电信公司的营业厅和许多报亭都有卖），就可以使用这些卡在 IC 卡电话亭拨打电话。为什么插入了 IC 卡，就能拨打电话了呢？

首先，在 IC 卡里面的集成电路卡存储了该卡的余额数据及卡的认证信息。当 IC 卡插入

话机，IC 卡的数据信息通过信道传送到交换机上，交换机接通智能网对该卡进行认证，并获取卡的余额信息，只要余额足够，系统就会允许用户拨打电话。在用户拨打电话后，交换机首先获取被叫号码并计算剩余可接通的电话时长，然后接通被叫，被叫摘机后，就可以通话了。在通话过程中，如果余额打完，电话会自动挂断。当然，在余额不足某个数额的时候，人性化设计较好的系统会给用户各种类型的提示音，有的直接发送一个 IVR，有的是“嘟嘟”声，提示余额不足，电话将马上中断。

随着手机的普及，IC 卡电话机渐渐消失了。不知道各位读者有没有许多美丽的回忆，停留在街边的这些 IC 卡电话亭里？

8. IP 卡——真的是 IP 吗？

20 世纪 90 年代中后期，吉通通信最早开始在全国 10 多个城市发展 IP 卡业务。IP 卡是一种在普通电话机上通过拨叫某个接入号（也是一个电话号码，但是这个号码是一个特服号码，原信息产业部正式分配的号码一般是 179**)，并输入正确的账号密码后，才能拨打电话的技术。这种技术之所以叫做 IP 卡技术，并不完全是因为它采用了 IP 技术，而是当初的新型运营商，没有自己的网络，只能在基础运营商的网络上架构自己的业务，而最基本的业务就是 IP 卡业务。标准的 IP 卡业务，除了扣卡上的钱外，还要扣除这部电话的市话费。

初期的 IP 卡业务是陆续在一些城市开通，并且在骨干上还是有 IP 网承载语音的，但是接下来原中国电信和后来拆分出来的原中国网通等，就直接在程控交换网上用智能网实现 IP 卡业务了。我们俗称为“假 IP 电话”。因此大部分的 IP 卡都名不副实。

前中国联通曾经采用 IP over ATM 技术架构的 VoIP 网络，可以说是名副其实的“IP 电话”，只是其 VoIP 的成本一点都不比 PSTN 低，但我们还是要赞叹开拓者的勇气和智慧！

随着资费进一步降低，IP 卡业务越来越失去其竞争力。

新的 IP 业务更加简单。传统 IP 卡业务，在拨特服号以后，会听到系统提示音并输入卡号密码，确认后才能拨打被叫号码，这叫做“二次拨号”；而 17951、17911、17909、96446 等特服号，在其后可以直接拨被叫号码，没有提示音，这叫做“一次拨号”（如图 16-3 所示），从政策上来说，这种一次拨号必须获得用户认可后才能开通，而实际情况是，现在的运营商已经直接把自己的客户绑定到一些 IP 特服号码上，无需进行客户确认。

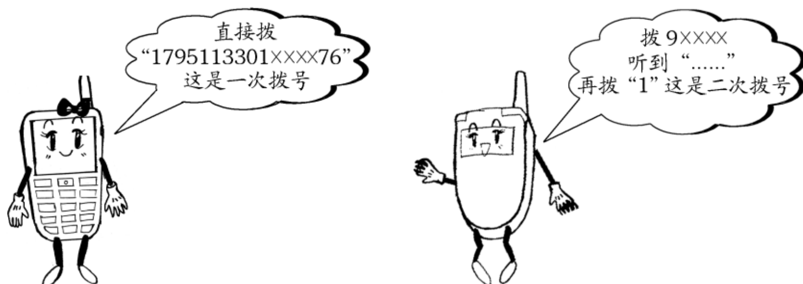


图 16-3　二次拨号和一次拨号



9. 彩铃/炫铃——我是“手机小强”！

你听到有人说话，你明明是主叫，且被叫不是 800 电话，但是你仍然不用缴费。为什么？因为电话还没打通！不对啊，你明明听到说话声音（有的是歌曲声音）啊！对，这不是通话，而是一种特殊的回铃音！SP 形象地把这种声音叫做“彩铃”或者“炫铃”。其实铃声只会动听，哪能有颜色的？这种“通感”的修辞手法，很巧妙地让大家理解了铃音还可以如此“五彩缤纷”。彩铃的本意是将普通的回铃音换一个声音播放给主叫方。听着音乐等待对方接电话，比听到一般的回铃音，更容易让人感到舒适和轻松。

如果说“信”可以是“彩色”的，“铃”是“彩色”的就明显使用了修辞手法。在文学里，这叫“通感”。正如《荷塘月色》中，朱自清先生说荷塘中的薄雾，如梵阿铃（Violin，即小提琴）的声音一样。把枯燥的、苍白的、应用了近 100 年的回铃音变成各种音乐、声音，这是多么让人惬意的事情！

彩铃有一个复杂的学名叫做个性化回铃音（CRBT，Customized Ring Back Tone），通过这个名字我们不难看出，彩铃最让人心动的不仅仅是动听的音乐或者幽默的语言，而是 customized（可定制的）。只要你愿意，你可以从浩如烟海的彩铃/炫铃列表中选择你喜欢的那一个作为你的电话彩铃。用时髦的话讲，“超酷”、“超炫”！

CRBT 的实现有多种方式。最复杂而最容易理解的是由交换机厂家修改交换机软件方式；也有采用智能网方式将呼叫控制权转移到智能网平台，由智能网平台根据被叫用户的信息，选择不同的呼叫策略，完成对整个呼叫的控制，这种方式存在话路迂回，需要占用更多的系统资源。还有一种实现方式是采用服务器方式，但无法支持预付费用户，只能支持少量用户，而 CRBT 平台一旦出现故障，会造成用户无法被呼叫，因此大型运营商一般不采用这种方式。

在个性化时代，人们喜欢标新立异、追求与众不同，而彩铃正好迎合了人们的这种需求。靠发展彩铃/炫铃业务获取高额利润的企业很多，创意、制作、分发，是一条龙式的。彩铃/炫铃在国内发展非常迅速，几乎每个门户网站都有彩铃/炫铃下载，还有大量团队专门制作铃音供客户下载以获取利润。著名的“手机小强”就是通过稚嫩的声音获得了无数下载量。音乐制作成彩铃/炫铃以后供下载，其市场总规模已经接近传统音像出版的市场规模，这是一个不可小觑的巨大市场。企业可以为员工定制统一的企业铃音，提升企业形象并表达对客户的关怀。

很多人混淆了“彩铃”和“铃音”的关系。“彩铃”是回铃音，是从电话听筒发出来的声音，是系统后台发出来的；而铃音，是指来电时固定电话或手机发出的声音，是固定电话或手机本身带有的。另外，企业总机接通后，一般会播放一段 IVR，这和彩铃的情况又有所不同。主叫用户听到彩铃，电话并未叫通，因此是不交费的，而总机放出 IVR，表明电话已经叫通，听到 IVR 后系统就开始计费了。如图 16-4 所示。

10. VOD——想看什么，就点什么！

人类需求的满足，有几种方式：等、靠、要。电视的初级阶段，节目是“等”来的，想想 20 世纪 80 年代初的中国老百姓，家里买了一台电视机，没有节目供你选择，只能“等”；之后电视台增多，节目增多，依靠多个频道，你可以有所选择，这也只是“靠”；而满足需求



的最高境界，则是“要”。VOD，即视频点播，就是这种满足需求的最高境界的具体体现，你要看任何节目，直接去“要”吧！

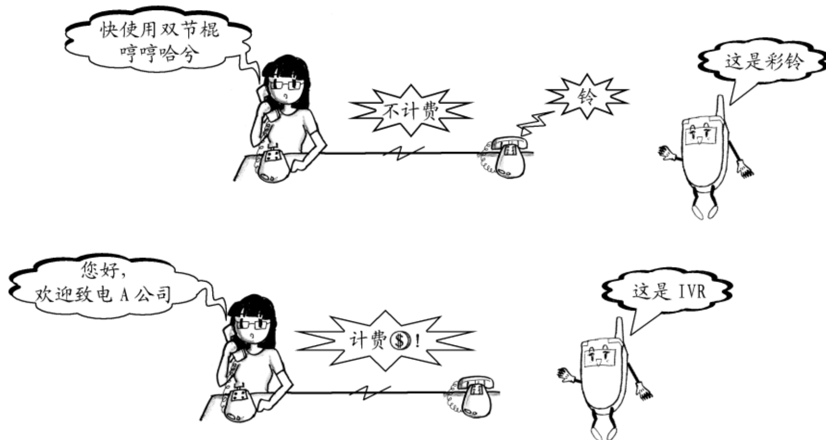


图16-4　彩铃和IVR

前文已经做过描述，VOD的意思是“按需将视频播出来”。当然，你点播出来的是视频流，从保护版权角度考虑，视频都将以流媒体的形式传送给客户端。流媒体不能存储，只能播放，因为存储就意味着可以传播，版权所有者的合法权益无法保障。

VOD也称为“交互式电视点播系统”，与电视不同，它是双向的、可以交互的，点播的过程和播放的过程，数据流方向正好相反。也正因此，VOD摆脱了传统电视受时空限制的束缚，解决了想看什么节目就看什么，想何时看就何时看的问题，也就是说，解决了“要”的问题。当然，点播一般是要收费的，收费方式可以多种多样。

VOD的客户端，可能是一台计算机、一台电视机或者一部手机，每种终端都对应着多种通信媒介，如互联网、广电网（HFC）、3G网络等。

VOD是娱乐与通信紧密结合的产物，从VOD的诞生我们就可以看出人类文明的发展规律：需求是永无止境的。从戏台子到广播，到电视，到VOD，人们希望越来越随心所欲地享受高科技带来的乐趣。

11. IPTV——在互联网上看电视！

传统的电视系统是在广播电视网上传送的广播式的视频服务。IPTV是基于IP技术的电视服务，它以电视机、计算机或移动终端为显示终端，以互联网为传输媒介，以交互方式向用户提供集互联网内容、电视节目、网络游戏等为一体的音视频业务。它是流媒体技术的典型应用。

IPTV吸引人的地方，一是它具有互动性，二是可以获取更多的互联网增值服务，如可视电视、网络游戏、远程教育等。也就是说，IPTV提供了一个信息共享的业务平台，是互联网、多媒体和通信等多种技术相结合的产物，其内容主要来源于广播电视部门和互联网的内容提供商。

在IP上传送电视信号，这不是个技术问题，而是一个政策问题、一个商业模型问题。IPTV业务涉及内容提供商（如广播电视台、电影制片厂、唱片公司等）、服务提供商（业务



平台的运营者)、网络运营商和中间件提供商等的利益分配问题。也正是这个问题，让 IPTV 的发展遇到了技术之外的瓶颈。

12. IP VPN——在互联网上“挖”一个专用通道!

我们经常听到“VPN”这个词。未来的若干年，互联网还将继续发展壮大，也会有更多的人和企业利用互联网无处不在的便利条件，构建自己的专用网络——稍等，没搞错吧，老杨！互联网可是一个公网，怎么能在其上建立“专用”网络？！各位看官，你没看错！这就是本节将要描述的技术——IP VPN。



V，Virtual，是指“虚拟的”。这里的“虚拟”，是指没有一个确定的边界和实体，它应该采用虚拟电路，而不是以时隙、光纤、线路来区分的。一般来说，VPN 是以连接名称，如 VPI/VCI（ATM 技术）、标签（MPLS 技术）、IP 数据包流（TCP/IP 技术）来区分的。

P，Private，是指“专用的”。这个网络应该是为某个带有专有性质的机构组建或者发起的，它的建立或发起，不是用来提供公众服务，而是为特定机构服务。

N，Network，是指“网络”。这应该是一个网络的范畴，有自己的拓扑，有自己的网络参数，在网络之上可以提供业务。不少读者都认为 DDN 组建的网络就是 VPN，其实，用 DDN 组建的网络，在 SDH 传输中的某个 E1 交叉连接，只是一种 PN（专用网络），但是并不“虚拟”，因此不能称为 VPN。也就是说，如果不是在公网上建立的专用通道，还不能称为“VPN”!

在电信增值应用中，VPN 覆盖面很广。而基于 IP 网络的 IP VPN，是应用最广泛的 VPN 技术——因为公用的 IP 网——互联网，它无处不在啊！要在公网上建立私网，电路或连接的边界必须明确，在 VPN 的管理范围内，其他业务不能插入，它也不会插入别的业务，这样才能保证其安全性、私密性。建立专网传送数据，当空闲状态的时候，其他数据有可能挤占它的带宽但不是它的通道。VPN 的通道也可以在某个通话结束后失效，等下一个通话开始再启用。

可以想象一下，全球有多少家带有分支机构的企业，IP VPN 的诞生，是让它们用廉价的方式获取一组穿过杂乱的公用网络的、尽可能安全而稳定的隧道。在这个意义上，VPN 可以说是对企业内部网的扩展模式。VPN 的建立，使公共网络可以被多个企业所共用而不是独占，大家共同承担公共网络的建设和维护费用，这不但符合企业的实际需求，也是社会化大分工的必然结果。让专业的人来做专业的事，是人类长久以来一直追寻的目标。那么由哪类专业的人来做这个事情呢？电信运营商或者经过授权的 VPN 服务提供商。目前，国内已经出现了获得 IP VPN 运营牌照的二级运营商。

VPN 用“隧道”代替了实实在在的专用线路。隧道好比是在广域网中拉出一根串行通信电缆。并且，在广域网中应该能够“拉出”许多根这样的电缆。VPN 技术的重点，就是如何在广域网中“拉出”这若干根电缆，相互间不受干扰，并充分利用整个网络资源，减少可能带来的浪费。

目前，用于 IP VPN 的主要有以下几种技术——IPSec VPN、SSL VPN 和 MPLS VPN，这些技术在通信和计算机领域我们可能都曾耳闻过。IPSec VPN 和 SSL VPN 主要解决的是基于

互联网的远程接入和互连，它们更适用于对价格特别敏感的商业客户。它们是 VPN 技术在两种不同的安全协议下实现 VPN 通信的两种方案，当然，它们可以同时使用，比如远程访问办公通过 SSL VPN，而站点之间连接通过 IPSec。

MPLS VPN 分为三层 VPN 和二层 VPN。

随着其协议的成熟和标准的确定，基于 MPLS 的二层 VPN 将有望成为 MPLS VPN 技术的主流。

13. CDN——给互联网加速！

不同的网络所有者之间的互连互通，是人为决定的。但是用户在获取信息的时候，只能将自己先“就近”接入某一个 ISP 的网络。要想获取另外一个网络所有者所拥有的某台服务器的信息，必须经过这两个 ISP 之间的互连互通链路。比如在我国，运营商之间的互连互通，有商业上的各种复杂关系，未必能做到最优；就算在一个运营商内部，各省、各地市之间的网络互连带宽都未必能满足人们对带宽的狂热追求。如何能够超脱于并不富余的网间带宽的瓶颈，来保证用户高速地获取信息呢？

前面我们讲过 P2P 技术，本节将为各位介绍互联网加速技术——CDN（如图 16-5 所示），它为解决这类问题提供了优秀的方案。CDN，Content Distribution Network，即“内容分发网络”，有时也被称作内容传递网络（Content Delivery Network）。它作为一种提高网络内容访问速度，特别是提高流媒体内容传输的服务质量、节省骨干网络带宽的技术，在国内外已经得到了广泛应用。

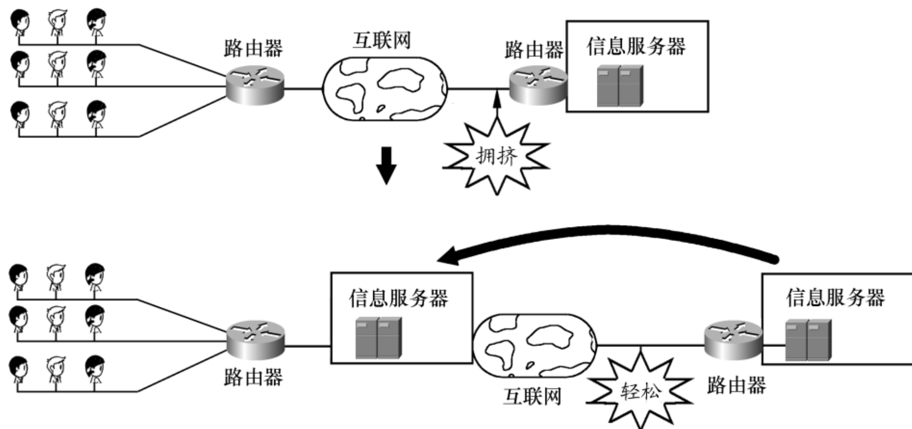


图 16-5　CDN 技术原理

CDN 网络运营商放置多台服务器在网络的多个位置，包括不同运营商的 IDC 机房、或者同一个运营商不同区域的 IDC 机房，并通过 IP VPN 连接它们；这样，CDN 运营商就可以发展客户了。任何签约信息服务器中的内容都通过专有的镜像技术被映射到这些服务器中。这样，任何用户都可以高速获取信息内容。简单地说，就是把众多客户需要的信息“镜像”到距离用户较近的地方，让客户在不感知的情况下从这些镜像点下载信息。

原始的信息服务器可能只连接某个运营商的 IP 网络，而 CDN 运营商让信息无处不在。

CDN 要考虑的问题就是如何将信息放置在距离客户最近或者较近的地方，进一步要考虑



放置在哪些位置最为合理等。在 CDN 技术中，关键技术诸如内容路由技术、内容分发技术、内容存储技术、内容管理技术等，就是来解决这些问题的。

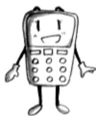
当然，CDN 技术还是 C/S 结构，与其有竞争的技术体制是 P2P。如果把 CDN 比喻成复制 10 个太阳用于照明，那么 P2P 则更像是星星点灯了。当然，技术的不同，带来的商业模式也会不同。它们都正在各自领域大行其道。

14. "飞信"—— 我要飞得更高！

把电信和计算机结合起来的方式有很多，比如 CTI 技术。而中国移动推出的"飞信"业务，把这两者的结合方式又向前推进了一步。

计算机的即时通信软件与手机之间互通短信，让短信收发不一定通过手机，而是可以通过计算机来实现，从而扩展了短信发送和接收的设施范围。其实早在飞信出现之前，一些 IM 就已经可以支持这个业务了，只是主导电信运营商能够主动挖掘这个市场的潜力，这理应是一件让消费者欢欣鼓舞的事情！

严格地说"飞信"并不是业务名称，而是一个业务品牌。但是就像人们把所有的软床垫都叫做"席梦思"，把所有可随身携带的电子通讯录都称为"商务通"一样，我们也可以把"飞信"理解为利用互联网发送短信（以后还会有更多的功能）的所有即时通信服务的统称。



老杨有话说——业务描述的苦衷

通信类书籍分为几种，撰写难度有所区别：最简单的是讲述某类产品的使用或者配置方法，那叫"用户手册"类书籍；比较简单的是讲技术原理，那叫"通用教材"类书籍；稍微复杂点的是以网络部署、设备组网为核心，那叫"工程资料"类书籍；最复杂的是讲业务，那叫"知其不可为而为之"的书籍。而本章恰恰是大家都最喜爱也最难表达的"业务"，因此老杨要给各位讲讲，业务为什么难以表达。

首先，"业务"是通信技术中，人类智慧的渊薮，是社会文明的高度结晶，因此业务是最不可名状的。它随时在变化和发展，随时在消失和创造，随时被肯定和否定，随时被拷贝和修改，它是动态的灵活的多变的善变的，总之绝对不是一成不变的。三月的天，娃娃的脸，还属业务最难"言"！

其次，业务实现是以技术原理、组网和产品配置方法为基础的，要把一项业务描述清楚，就得把相关技术原理、相关组网方案、相关产品配置方法以及相关注意事项都描述清楚，责任编辑有意见了 —— 内容太长太繁杂，读者也有意见了 —— 描述太乱太啰嗦！

第三，每个人心目中都有对业务的不同理解和感受，这也就造成任何业务在不同厂家和运营商那里的实现都不完全相同。就像做菜，技术原理的探讨集中于该放盐还是放糖，而业务逻辑的探讨则更关注是先放盐还是先放糖；于是，一盘鱼香肉丝，不同的厨师做出的味道也不相同。众口难调！同理，任何对业务的描述，都不可避免招致一些人的奚落，于是每位撰写业务介绍的人，都不得不等待越来越猛烈的板砖抛向自己！

业务，永远在满足人们需求的过程中发展，起点无从考证，目标永无止境！



第17章 Chapter 17

运营支撑和管理计费

有了编码、寻址、交换、路由，电话网是不是就能把电话呼通，计算机插根网线连接ADSL Modem是不是就能接入Internet，让传输网安全、高效地传送，让交换网无阻塞地运行，让声音清晰、图像优美、连接快速？不！实际情况是，很多事情并不以人的美好愿望为转移，似乎这世上也没有什么事情能让人高枕无忧。本章之前所提到的所有技术门类，其目标都显而易见。然而还有一些工作，我们未必能够想象到，即使初学者有一些了解，也往往认为是“可有可无”的。但是它们必须存在也客观存在，没有它们，基本业务可能都无法正常提供，它们也是电信网必不可少的部分。它们被称为“运营支撑和管理计费系统”。它们占据电信网研究和建设相当大的比重，但却极易被大众忽略。

通信网的运营支撑和管理系统必须精细而健壮。它们对于通信网，就像氮磷钾之于庄稼，维生素之于人体。

要让通信网平稳地运行，整个网络必须有统一的节奏——这就是网络时钟同步。要让网络运营者能够正常经营、获取利润并扩大再生产，通信网必须能够确认用户的合法性、制定计费的费率、统计服务的数量（比如客户的通话时长、上网的流量等）和提供客户用以查询服务数量的统计信息源和查询通道或界面。这些，对电信运营商和服务供应商的运营模式至关重要！

在本章，老杨要介绍几个通信网的基本支撑环节——时钟同步、认证和鉴权、网络管理和计费营账系统。



同步——让通信网有统一的时钟

通信网络的各个节点，都要有一个“钟”，每个节点都要保持时钟的一致，否则就可能造成各种错乱的现象。电信网的“钟”并不像现实生活中的钟表那样以“几点几分”为标识，而是采用技术手段保持同一个节奏，接收端保持和发送端节拍一致，不至于在发送端开始发送信息时，接收端还没有调整好节奏来接收信息。同步是通信网的基准“节奏”。

广义地说，任何通信网都要保持时钟同步。但是并非所有的通信网对时钟的要求都极其严格。而对于时钟要求严格的网络，必须有同步网做支撑。



同步网就是电信网络节点的“时钟”，它保证整个电信网（尤其是 TDM 网络）在某一个特定的“节奏”下步调一致地交互信息，而避免上文所说的“错乱”现象的发生。我们注意一下大型乐队的指挥，无论是管弦乐器还是打击乐器都要在指挥家的统一指挥下演奏，而乐谱本身就是按照小节来写的，小节形成节奏；无论一个乐队有多少种乐器，每种乐器的音色差异有多大，都必须拥有统一的节奏，从同一时刻开始进入同步状态——注意，“同步状态”并不是“同时状态”，在乐曲中，如果你不发声，那就是“休止符”。只有这样，一支乐队才能演奏出和谐的音乐；如果钢琴演奏快了，小提琴慢了，就是演奏再美妙的音乐，钢琴和小提琴各自的音色再优美，艺术家再卖力，听众恐怕都要把刚吃的晚饭吐干净。在通信网中，如果没有信号传送，就传送一些“填充”比特来保证整个系统“步调一致”。

网同步技术领域主要包括实现网同步的具体技术和时钟分配网络技术两部分。

实现网同步的具体技术包括传输同步技术、复接同步技术和交换同步技术，也就是说，信号在通信网上传送的全过程都要坚持同步，都要有同步时钟给予参考。比如传输同步技术，它决定了传输信号的损伤程度（对信号的任何改变、拉伸、延误、提前都是损伤），如误码、抖动、漂移、滑动、延时等。

时钟同步的实现，可以有几种方式，想想你平时是怎么知道时间的。一种方法是听广播的“最后一响”。在通信中，一台设备可以取同步卫星或者原子钟、石英钟等公认的标准时钟，当然，它必须具有获取标准时钟的装置，这个装置就是“局钟设备”。另一方法是看手表，或者看电脑或者手机的时钟，那么这些“时间”来自哪里呢？它们来自于与标准时钟“对时”（如与广播的“最后一响”对时）；在通信网中，设备可以从传输线路中提取时钟。通信网中时钟分配的方式如图 17-1 所示。

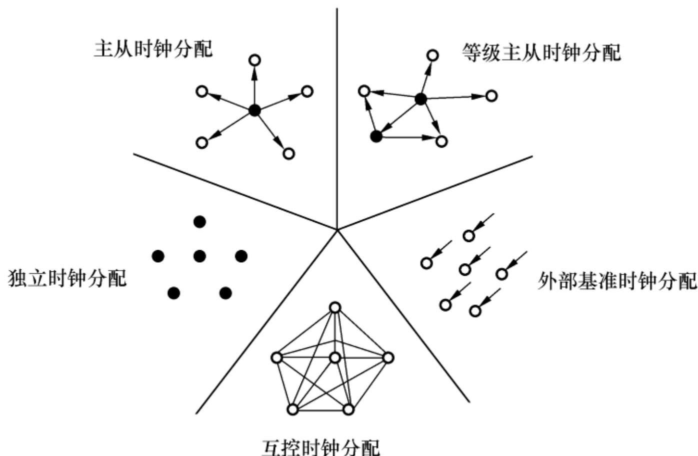


图 17-1　时钟分配的方式分类

网络里的“最后一响”是由局钟发起的。局钟设备是一个高可靠性的频率综合设备，实



现时钟提纯、频率变换、并行输出标准时钟等功能。其中的输入接口单元接收来自本地原子钟、石英钟或上级局钟的 5MHz 标准频率信号。

STM/PSTN 对同步要求很高，而数据网络对网络同步要求相对较低，但是对于有些环境，比如 ATM 网络中的 CES（电路仿真）业务，也需要严格的网络同步，因为其传送的就是透明的仿真电路，类似于 SDH 或者 DDN 的透明传送。



认证和鉴权——通信网准入策略

通信网是信息交互的媒介，并不是所有的网络路径和信息内容都要对任何人开放。企业所拥有的信息，大部分企业内部员工一般都可以无偿获取其中的一部分，外部人员不经授权是不能获取的。企业一般都拥有自己的特定地域空间（如办公室、厂房、机房等），具有天然的屏障，除了分支机构、外出办公员工通过 VPN 等形式与企业网互通外，其他人很难进入，因此认证和鉴权工作相对容易。

而对于公众网甚至是电信网，其中的信息并不允许任何人未经授权地使用。典型的是电信网，接受服务合同后方可使用，未签约用户是没有使用权的。那么，通信网靠什么来阻止未经授权的用户使用呢？进学校要有校徽，进考场要有准考证，进网络要有认证和鉴权！

认证是让任何希望进入企业网或者公网获取信息的用户，通过技术途径获取企业网或者公网信息的方法。我们不能说是通过合法还是非法的手段，因为从技术途径上来说，黑客进入某个企业网，他是非法的，但是他往往利用一些技术手段获得认证和鉴权，从而伪装成“合法用户”。

对于电话用户，从运营商的 PSTN 扯出来的双绞线，天生已经被认证和鉴权了：因为这条线路是物理实线路，如果你把一根双绞线插在地上，接上电话，它能打通电话的可能性为 0。前文我们说过，运营商在交换机上已经配置好了这根双绞线对应端口的电话号码，并且全程全网做好了路由，这种状况下，我们就不再研究其认证和鉴权机制。任何人都不可能通过电话机修改电话号码。

那么对于通过各种 Modem 接入网络的用户，一般采用 PPP 方式进行认证和鉴权。在第 7 章，我们讲解了拨号上网的原理。可以这么理解：用户端的拨号软件通过拨打某个特服号码，比如 163、169 之类的电信运营商或者 SP 提供的号码，由于客户本地有 Modem，在计算机上的拨号软件触发，本地 Modem 开始与局端的 Modem 池的某个选定 Modem 进行握手，握手过程中，你会听到 Modem 发出“刺啦刺啦”的声音，在这个时候，你在计算机上输入的账号和密码信息通过 Modem 送到局端的 Modem 池，而 Modem 池会定义将这些账号和密码信息传送到本地或者远端的数据库。Modem 池和数据库之间是通过 RADIUS 协议进行信息交互的，若数据库中有对应的账号和密码，那么该用户就被认定为是合法用户，数据通道打开，用户计算机可以上网了。这就是拨号过程（如图 17-2 所示）。



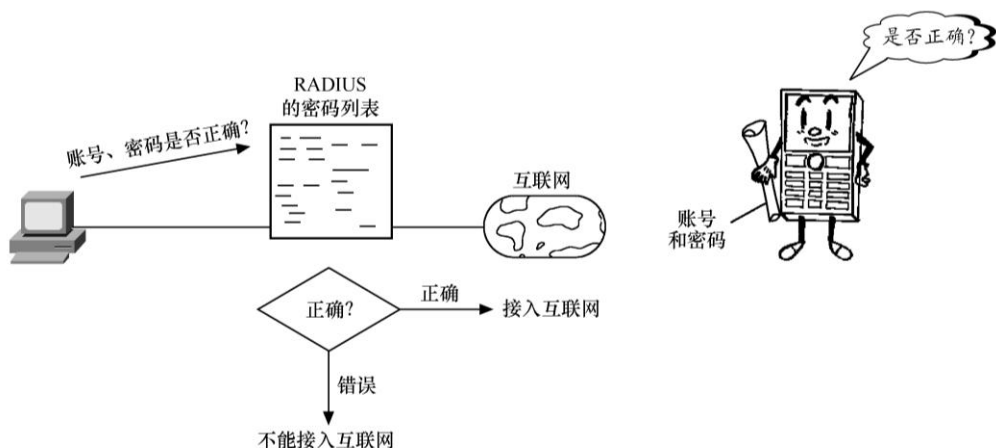


图 17-2　拨号的认证和鉴权过程



网络管理——通信网忠实守护神

当服务供应商或者网络所有者把一大堆设备安装到机房、把线缆连接好，就可以给客户提供业务了。无论是业务开通还是发生网络故障，都需要专门的人员对网络进行维护工作。当然也可以在每台设备旁边都配备一名高级工程师，他勤奋好学，他刻苦钻研，他锲而不舍，但新的问题接踵而至：

- 高昂的人员成本：薪金、保险、补贴、培训、差旅、通讯、休假，当过家的，都知道柴米有多贵！
- 网络发生故障，每个人都要仔细查看自己维护的设备是否有故障，而判断故障谈何容易？！
- 客户要求开通业务，每台相关设备的管理人员都要对自己管辖的设备进行配置，反复组织、沟通、协调，过程繁琐得够戗！

……

这林林总总的问题一定会让所有服务供应商个个如热锅上的蚂蚁！怎么办？怎么办？

还好，我们的通信专家早就意识到了这个问题。当今，网络管理已成为通信网的一大课题。几乎所有的通信产品都涉及网络管理。从经验来看，网络维护的总成本，远远高于网络建设的总成本。有人拿大海中的冰山来形容通信网的建设投资，海平面以上的部分是建设成本，而海平面以下、人们不易看到的巨大冰山“底座”，是网络维护的成本。如果网络规划没有做好，网管系统功能不全，其维护成本将更加高昂。

网络管理就像对会议室进行管理一样。一个会议室的管理员，要管理的物品是桌椅茶水、白板水笔、灯光投影、花草装饰等，他知道他不能出现差错，至少应该减少出错。那么如何做呢？他将所有的管理分为几大类，正好与专家们所提出的 TMN（电信管理网）框架的五大

功能域是完全一致的，那么就随老杨一起来做一个对比吧！

1. 配置管理

会议室管理员：每次开会，参加人数不同，会议形式不同，需要配置不同数量的桌椅和茶水，并摆放整齐；他需要知道客户是否需要投影仪，是一部还是两部，一块幕布还是两块，分别放在哪些位置，等等。

网络管理员：网络建设结束后，需要配置各种地址、端口、编码、路由等，使之能正常使用，并对用户数据进行配置，使用户能够通过正确途径访问网络。除了网络的初始化配置、用户数据的配置外，还有很多和配置管理有关的管理工作，比如对互联网某些网址的屏蔽、各种路由调整等。

2. 故障管理

会议室管理员：千万别指望会议室中的一草一木永远不会坏，凳子腿断掉是不可避免的，水笔写不了字是不可避免的，发生问题要尽快找到正确的方法予以解决。

网络管理员：别指望网络设备和传输线路是永远不会坏的，光纤被挖断是不可避免的，交换机发生硬件故障是“天经地义”的，路由器某个时段 CPU 温度过高造成死机也是很有可能的，发生问题要尽快采取正确的处理手段。网络故障发生后，一般要经过分析、定位、排除、总结等几个步骤。

3. 性能管理

会议室管理员：要查看会议室的任何内容是否能够正常工作，并对其状态做收集和处理，对客户参会后的评价做分析和改进；当越来越多的客户需要更大的会议室，需要将信息汇总、分析并迅速上报；以月、季度和年为周期，对会议室的使用情况要进行统计，观察哪类会议更喜欢租用这间会议室，这个结果对以后如何维护会议室、如何进行会议室出租的市场宣传是很有必要的。

网络管理员：网络管理员要定期统计每个端口的业务流量，要分析每个客户的使用情况以及他的 ARPU[1]值，如果因业务增长而发生忙时系统容量达到或超过 70%，就要向上级发送扩容警告，否则，市场活动就要暂停，否则过高的网络压力会让已经签约的客户受到影响；总之，要连续地监控、报告和估计网络单元的属性，给网络经营者提供经营依据。

4. 账务管理

会议室管理员：会议室所提供的租赁服务是要收费的，会议室的大小、来的人多少、茶歇的水果种类以及前台花篮的大小，都决定了收费的数额，你在与客户谈判费用数量的同时，还要商议付款方式，比如交多少订金、尾款多少，是总体打包的形式，还是每项分别列出？是否在会议淡季赠送投影仪的使用权来拉拢客户？

网络管理员：网络管理员分为两种情况，企业内部网的网络管理一般不需要内部计费，

[1] Average Revenue Per User 的缩写，即每用户平均收入。一个时间段内运营商从每个用户所获得的收入。高端用户越多，ARPU 越高。而某个时间段内 ARPU 越高，一般情况下说明利润越高。这是电信运营商投资收益分析的一个重要参数。



只是要与电信运营商或服务提供商对账，检查账务是否准确。而对于电信网的网络管理员，必须保证通信网能够精确计费，从而回答谁用了、用了多少。比如 PSTN 的计费，每分钟话务的价格是按照 60 秒计费（俗称 60 + 60）还是按照 6 秒（俗称 6 + 6）计费？是包月还是按照流量计费？网络管理机制必须考虑这些问题并有相关设施能保证上述的计费方式准确应用。

5. 安全管理

会议室管理员：会议室管理员要保证会议室的物品不被盗窃或故意损坏，要保证正在进行的会议，不会被不法分子或者恐怖主义组织（说的有点吓人了是吧？可是有些会议室管理员不得不考虑这些问题）干扰。

网络管理员：考虑网络是否使用良好和是否有非法用户的问题。它由一组保护对网络资源访问的机制组成，如设备校准、接入控制和维护操作的安全性登录。

谁说隔行如隔山，看看上面的对比，我们发现会议室管理员和网络管理员其实所做的工作有无数的共通之处！

电信网之所以能够长期稳定的运行，与其背后电信管理者和维护者的辛勤劳动以及密切配合是分不开的。电信网是关系到国家安全的基础网络，没有好的网络管理，很可能对国家安全造成较大影响。对于因维护不当造成的客户损失，一般来说都是比较严重的，尤其是电信基础业务（如语音和基础数据业务），若出现非不可抗力的长时间中断，相关维护部门或者与之有关的设备厂家，要负法律责任。

目前我们经常的网络管理协议是简单网络管理协议，不过大家一般都喜欢叫它 SNMP（Simple Network Management Protocol）；另外，ISO（我们应该对它不陌生了）制定的 CMIP（Common Management Information Protocol）也有一定应用，但是由于 CMIP 对网络性能要求过高，因此流行度远远不如 SNMP——这又一次印证了“简单实用的东西最容易流行”这一规律。



千变万化的电信计费模式

作为电信运营网组建的网络，计费是电信网不可或缺的组成部分。运营中的通信网，在其计费管理的复杂度上远远高于一般的可见商品（如餐饮、房产、日用消费品）的复杂度，也远远高于一般的服务行业（如酒店、交通、物流、出租车等）的计费管理。电信网计费很难用其他行业的计费方式进行类比，当然局部方式会有类似之处。

电信网计费，有几种基本方式。

1. 按照时长 × 单价的计费方式

时长 × 单价 = 费用。话音业务基本都是按照时长计费。从双方的电话被“叫通”开始到任何一方挂机结束，这段时长被称为一个电话的“通话时间”。而若拨打对方电话，听到的任何回铃音，包括传统回铃音和彩铃，这段时间都是不计费的，直到被叫方接起电话。

通话时长过去都是按照分钟计费，不到一分钟按一分钟计算。如 3 分 32 秒，计 4 个通话单位（分钟），若每个通话单位（分钟）为 0.7 元，这通电话的总费用是 2.8 元。



目前的电话大都是按照 6 秒（十分之一分钟，0.1 分钟）计费，俗称 6+6 方式的计费模式。如果每分钟费用是 0.7 元，每 6 秒就是 0.07 元，不到 6 秒按 6 秒计，对于 3 分 32 秒，计 36 个 6 秒通话单位，这通电话的总费用是 36 × 0.07 = 2.52 元。同类可比，还可能有 30 + 6、30 + 30 等的计费方式，道理都差不多。

拨号上网、ADSL 上网、手机上网、ISDN 等，都可以按照时长收费。

话费单价受工业和信息化部、国家物价部门的管理和监督，按照各种不同的通信手段、不同的地域差别、不同的运营商，费率都有所不同。通信手段方面，拨号上网和 ADSL 上网的费率肯定不同；手机和固定电话分别拨打市话，费率也不完全相同；对于移动通信，中国联通、中国移动和中国电信的资费也都不完全相同。而按照地域来说，比如在我国，语音通信中的市话和长途的费用是有区别的（并非所有国家和地区都如此）；同一个运营商的不同地区，资费也不完全相同；如果手机不在注册地，那么通话还有额外的漫游费。2007 年颁布的最高限价令，使运营商价格可以做变化，但不能高过原信息产业部规定的价格，以此期待加剧行业竞争，打破垄断。

2. 按照数据流量计费

按照数据流量进行计费是很多通信网管理者的梦想，尤其是 IP 网络运营者。这里的数据流量，一般以数据量为单位，比如千位（kb）、兆位（Mb）或者 k 字节（kB）、M 字节（MB）等概念。现实情况下，按照流量计费，需要较大的设备投入，因此，被称为第 2.5 代移动通信的 GPRS 或者 CDMA1.X，由于技术市场的多重原因，都以流量计费的方式为主。

互联网接入，由于受到 P2P 技术的严重影响（如电驴、BT 下载），造成网络质量严重下降，曾经有运营商试图按照流量收费，但是受到舆论的压力后不得不放弃。

3. 按照次数计费

短信业务是典型的按照次数收费的，网内互发和网间互发在 2009 年 1 月前有区别，目前已经统一。每条短信价格相同，如 0.1 元/条，不管你的短信内容是 1 个字还是 10 个字。有人会问，发一条短信花了 0.2 元，为什么呢？首先，短信的标准是 140 个字节，折合成汉字就是 70 个汉字。超过 70 个汉字，不好意思，你需要另外交一个短信的费用了！

4. 按照带宽、端口或号码数量

目前很多租线式业务和许多电信增值业务，都采用这种方式，如帧中继业务端口租赁、IDC 机房服务器托管、ADSL 包月、拨号包月、手机、卫星租线业务等。

5. 按照通信发起/接收角度计费

同一个通信过程，主叫方和被叫方的资费在电信网中经常是不一样的。

一般情况下，固话网主叫方付费，被叫方不付费。第 16 章介绍的增值业务中，800 电话主叫电话免费，被叫付费；400 电话主叫方只需缴纳市话费，被叫方承担市话和长途费用，属于主被叫分担付费。短信业务发起方交费，接收方不付费。移动通信业务比较复杂，还要有漫游费，也是按照时间长短收费的。总之，每种业务类型都紧密结合其资费方式。

6. 按照时段进行计费调整

按照时段进行计费是长途电话经常使用的一种资费方式。比如原中国电信的“九州夜话”



的费用，每日 0 时到 7 时，长途话费 6 折优惠。这种方式是为了吸引客户多在这个时段打电话，来填补交换机的空闲。

7. 混合型资费

在以上几种计费方式的基础上，可以有多种基本方式的组合。而目前电信领域竞争激烈，因此基本上所有的计费方案都带有一定的“混合性”。

如某运营商推出 ADSL 业务，资费如表 17-1 所示。

表 17-1　　某运营商的 ADSL 资费表　　单位：元（人民币）

时长 / 速率	20 小时	40 小时	60 小时	无限包月
512kbit/s	20	30	60	80
1Mbit/s	30	40	70	90
2Mbit/s	40	50	80	100
4Mbit/s	50	60	90	110

注：超过承诺时间，每分钟按照套餐内均价的 2 倍计算。

我们可以看一下，这组资费是由多种计费基础元素组成的。首先，按照带宽不同，资费有所差异；其次，按照时长来计算价格；但是，按照时长也是有条件的，如果承诺时长不是“无限时”，超过承诺时长后每分钟的资费还要加倍。

移动通信在按分钟计算费率的同时，还有频率使用费，也就是每月可能还有几十元的基础费用。说“可能有”，是因为现在中国的移动运营商新推出的若干套餐，有的对频率使用费进行了减免。

固定电话除了按分钟计算费率外，还有座机费——老百姓俗称“坐下来基本都要交的费”。

形形色色的价格套餐，其初衷都是为了最大化地获取利润，这是经济学范畴的问题。其结果是，每个用户可以根据自身情况选择不同的资费套餐。中国移动的“动感地带”就是为了吸引喜爱时尚的青少年用户而设置的一种资费套餐，成为中国通信行业中的经典营销案例。



运营商之间的互连互通与结算

大家知道，在 20 世纪 90 年代后期，随着电信和移动“分家”，中国联通、中国网通、中国吉通、中国铁通的成立，打破了一家电信运营商（当年的中国电信）长期垄断整个市场的状况。今天的三大全业务运营商中国移动、中国电信和中国联通，已经进入全面竞争的时代。

除了运营商，还有许多大行业、政府部门或单位，为满足自身进行生产组织管理、调度指挥的需要所建立的网络，这些被称为“专网”。军队、电力、石油石化、煤炭等机构，都建立了自己的交换网和长途传输网。

每个运营商都有各自的客户群体，但是它们之间相同性质的网络，无论是语音网还是互联网，都应该也必须实现互连互通。每个专网也都有自己的“客户”群体，它们需要与外界的公网沟通，就必须和电信运营商的同质网络实现互连互通。

注意，通信网不仅仅是商业，还是政治，因为信息关系到国计民生。中国移动的手机用户，一定会拨打中国电信的固定电话，或者接听来自中国联通的客户电话；中国联通的 ADSL 宽带用户也一定会访问中国移动 IDC 机房里的服务器内容；军队、石油、煤炭行业也需要与中国电信、中国移动、中国联通的客户进行语音的沟通或者数据业务的互连。

但是计费呢？不管通信网的所有者是运营商还是政府机构、企事业单位，它们之间的互连互通，都应该是买卖关系。它们是如何进行交易的呢？换句话说，如果两个运营商的通信网之间有一条光缆连接起来，这段光缆谁来支付建设费用？每个网络所有者在什么情况下算是卖东西，什么情况下算是买东西？在某个时间段内，又如何计算它们各自买了和卖了多少东西呢？这在其他行业中仿佛一目了然的问题，在通信行业却有点让人摸不着头脑。

先说专网与公网之间的连接，双方可以在国内长途电话网、国际电话网、IP 电话网、移动网、互联网等多种性质网络之间形成互连互通。单就 PSTN 而言，目前全国所有的专网都已经实现了与公网的全自动连网，专网占用公网本地网市话号码资源，实现与公网等位拨号。从拨号方式上，专网与公网用户没有差别。互连所需中继电路若由专网单位投资建设，电信运营商免收全部入、出中继电路月租费。若中继电路由电信运营商投资建设且为双向通道，则由电信运营商向专网收取标准资费一半的月租费。专网与电信运营商的固定本地电话网、国内长途电话网互连时，专网交换机与公网交换机不在同一个营业区，互连中继电路由专网单位投资建设的，专网至公网该营业区的通话按照本地网营业区内通话费标准（即市话费标准）收取。

而公网之间的互连，和上述专网与公网互连的网络性质方面区别并不大，只是公网互连互通覆盖范围更广，应用更普及，发生矛盾的地方也更多。在语音方面的互连互通遵从以下重要原则：长途跨网情况下，在本地网做跨网，在被叫方的网络走长途。这话说的很绕嘴，我们举例说明：运营商 1 在 A 市的客户 a 给运营商 2 的 B 市客户 b 打电话，线路是从 a 到运营商 1 的 A 市本地网——本地互连互通——运营商 2 的 A 市本地网——长途线路——运营商 2 的 B 市本地网——客户 b，如图 17-3 所示，跨过中间虚线的地方就要做结算。有的运营商在各省间也要做结算。

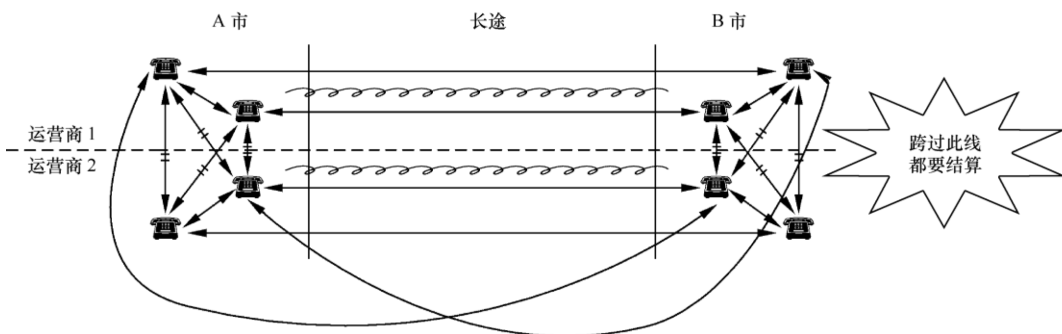


图 17-3　互连互通与结算

这种方式的定义，其初衷是为了统一，也就是说，保证所有运营商之间利润的公平性，



也保证本地的话务，虽然不是本运营商发展的，也可以获取利润。

现在我们以公网之间的互连互通为例，讲讲语音网和 IP 网互连互通中的结算问题。

1. 语音网的网间结算

语音业务是电信网络最基本的业务。A 和 B 拥有相同的用户类型和信息类型，那么我们可以这么理解：被叫是信息源，主叫是信息需求方。那么任何一个电话用户，无论他在 A 网络上，还是在 B 网络上，都既是信息源（在作为电话被叫的时候）又是信息需求方（在作为电话主叫方的时候）。A 的用户若向 B 的用户拨通电话，虽然数据流量是双向对称的（没有哪项技术让语音通信双方按照说话时间长短收费），但由于 A 的用户主动发起，A 的该用户就应该承担相关费用（800 除外），该用户向 A 运营商交费后，A 运营商要向 B 运营商交付“结算费用”。因此电信管理规则是，A 向 B 输送话务（A 的用户拨打 B 的用户），A 要向 B 付费。不同国家内部，不同国家之间的电话结算费用是不一样的。对于一个国家内部，一般由电信管理部门按照前文所描述的规则，制定具体的结算价格；而国家之间的结算，取决于双方的关系、距离长短以及双方国家的经济实力。

全世界绝大部分国家与古巴的结算价格都非常高，就可以用上述情况做解释。古巴与美国的关系是众所周知的，海底光缆价格昂贵，并且大都是由与美国修好的国家铺设，其到古巴的线路非常稀缺，而古巴作为一个小岛国，到全世界的出局中继数量稀少，价格自然很高。

语音业务中，A、B 之间的光缆上，双向流量是完全一样的，因此计费基本按照谁发起谁付费的方式。

2. IP 网的网间结算

我们以 IP 业务为例，介绍数据业务互连互通后，运营商之间的结算问题。运营商的 IP 业务互连互通有两种方式：

（1）NAP 作互连互通

NAP，Network Access Point，即网络接入节点，一般是由政府或第三方运营商建立的，用于多个运营商在某个集中的点进行互连互通。由于政府作为管理者，不参与直接的生产经营，NAP 大部分是由一个较有实力的运营商代为管理。

NAP 是各家运营商共同构建一个互连互通节点，大家在此节点上对等互通。但 NAP 的应用并不让人满意。各个运营商之间的业务发展是不平衡的，强势运营商拥有更多的客户，它当然希望强者更强，因此他们不会重视 NAP 的互连互通。

（2）运营商之间建立直连链路

运营商之间建立的直连链路才是运营商之间 IP 互连的中坚力量。从惯例来说，运营商之间互联网的互连互通，弱势一方向强势一方付费。

长期以来，国内运营商的互连互通受到垄断的影响一直处于被动局面。随着电信业改革的深入，这种状况正逐步好转。全球的电信业都出现类似的情况。美国的电信业改革自电信业开始发展至今就没有停止过，AT&T 被拆分又自行部分组合就充分说明了这一点。这是电信业自身的特点，是客观存在，作为电信业者，应该正视这一客观现实，在主导电信业改革

的过程中要依托于现实，并努力改造现实中不合理的部分。



通信网的运营维护

1. 通信网运维做什么？

通信网的运营和维护是丰富而枯燥的。“君子生非异也，善假于物也”，各种仪表、仪器可以用来做网络故障、网络质量的检测。一些通信协议自身也会带有运营维护的技术。比如ATM 有专门的 OAM 信元，用来 O（Operation，操作）、A（Administration，管理）和 M（Maintenance，维护）。OAM 是运营维护管理的总称。下面还用会议室管理员的例子来做描述，看看 OAM 到底要干什么事情。

一般来说，一个会议室管理员所作的维护工作无非以下几种：

- 在开会过程中以及会议结束后，不断倾听客户意见，根据客户对会议室的评价意见，评估工作得失，将相关问题反馈给市场或决策体系；
- 通过定期查看桌椅、查看花草，产生各种维护和告警信息给酒店的桌椅维护员和花草管理员；
- 处理会议中的突发事件，比如某个参与者接听电话，管理员应迅速请他到会议室外接听，不要影响别人的正常参会；
- 把所有的问题处理过程提交酒店管理层。

对于电信领域的 OAM，运维人员将进行以下工作：

- 在网络运行过程中，不断获取客户投诉，并处理投诉；
- 不断积累经验，研究通信网内部规律，尽可能在问题发生之前处理掉相关隐患；
- 对于重大网络故障，要第一时间进行定位和排障，尽量把损失控制在最小范围内；
- 把在维护中出现的问题进行汇总，对可能涉及其他部门的问题进行总结并上报。

2. 电信运营商运维常用名词

（1）封网

我们经常看到在一些特殊历史时期，比如重大节日、政府重要会议等，运营商将宣布“封网”，那么什么是封网呢？其实，“封网”只不过是电信企业技术人员的一句行话。“封网”是在规定时间、规定范围内停止有关电信网络的工程施工、系统割接与升级、电路调度、业务开通与调整、局数据制作、网管数据制作（不含用户数据制作与接入端设备调整）等工作。由于暂时停止了上述工作，通信网络由外力造成故障的风险几乎为零。

“封网”不是停止服务。不论发生上述哪种情况，通信网络都在正常工作，不影响对广大用户的正常服务。

（2）网络割接

“网络割接”，从名称看似乎很“残忍”。割接，要先“割”，再“接”。割什么呢？是“割”原有网络的线路、设备等；而“接”呢，是把新的线路、设备接上去（如图 17-4 所示）。正在建设的



网络无所谓“割接”，只有正在运行的网络，当线路、链路、设备发生变化，要进行可能影响原有业务的时候，称为“网络割接”。在网络改造中，最后的环节，也是最关键的环节，就是“割接”。

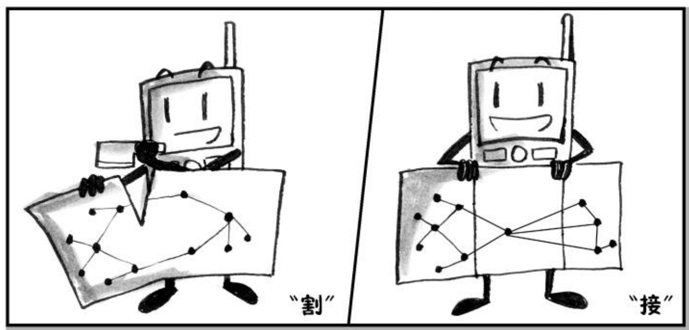


图 17-4　网络割接——“割”和“接”

既然业务正在运行，在割接之前就要准备好每个过程，分析可能发生的任何结果。很多大网割接，都是把一次工程拆分成若干小的工程，如果割接过程中发生故障，还要考虑尽快把业务恢复到初始状态，待查明原因并处理后再进行割接。

如果必须中断业务，也要考虑把业务中断时间压缩到最短，并尽可能选择业务量最小的时候割接。因此，一般的割接都是后半夜进行。

割接操作结束后，还要观察一段时间，这段时间和网络建设初期一样，属于试运行。没有相当长时间的考验，是不能说割接后的网络已经稳定了。究竟要试运行多长时间，要根据每种网络的复杂性而定，这需要丰富的实践经验，没有现成的理论参考。

（3）重保

在特殊历史时期的特殊保护措施，如图 17-5 所示。它是一般在重大节日、重大历史事件才会有的一种维护人员重点实施网络保护的状态。

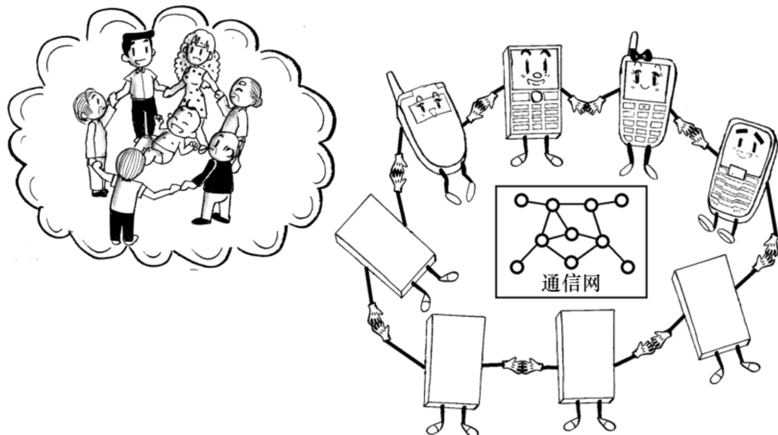


图 17-5　重保

比如当中国健儿在运动会上又获得一枚宝贵的奖牌，会有无数人上网查看详细消息，网络流量会在短时间突然增大，对于如此重大的历史时刻，网络的稳定性要求会更高。这时，电信运营商将对整个通信网实施重保，确保所有客户能够顺利接入网络并获取信息。

近几年的春节，中国人短信拜节、电话拜节非常流行。在大年三十晚上，移动和固网运营商就要对与短信、电话有关的设备实施重保。超负荷的运行很可能让一些设备产生流量拥塞，甚至造成系统瘫痪。在举国同庆，合家团圆的日子里，有许多网络工程师还在坚持岗位，默默无闻地工作着！



运营商缴费系统

运营商的计费系统建立以后，只是建立了相关账务数据，那么如何收费呢？运营商的收费分为以下几种情况。

- 营业厅收费：在各运营商的营业厅，包括运营商自建的、与运营商合作的营业厅。每个运营商都有自己的收费营业厅。当前电信运营商的营业厅一般都采用柜台制，每个营业员面前的电脑里运行着查询和收费系统的软件。
- 银行托收：运营商通过银行托收费用，个人或者企业都可以通过与运营商合作的银行缴费。
- 卡类预付费：在很多杂货店、书报亭以及卡市出售的 IP 卡、IC 卡、充值卡，可以理解为运营商以渠道的方式发展的预付费形式的收费系统。

SP 提供增值服务向客户收费，由于受到 SP 规模的限制，一般都由运营商托收费用，因此也采用上述 3 种方式。



电信运营商的那些事儿

电信网，是向社会人群和单位、机构开放的技术元素与管理元素组成的集合。电信运营商是电信网的“业主”，管理工作需要精益求精。本节，老杨就说说运营商管理方面的一些事儿，从外部剖析电信运营商内部管理的复杂性问题。

电信网的管理复杂性是由下面的诸多因素造成的。



- 电信网技术发展快，“规划赶不上变化”的情况比比皆是，新技术类型网络上马，要考虑对原有技术的利旧和原有投资的保护，还要考虑未来的扩容和扩展、技术和设备更新的便利性。电信网投入巨大，其演进不得不像搬家一样，瓶瓶罐罐，该保留的必须保留，不该保留的就要果断处理。这些需要运营商的管理者拥有高超的管理艺术和对未来技术、市场走势的远见卓识。
- 管理水平必须在实践中成长。目前 PSTN 在全球发展了 100 多年，管理水平普遍较高；而针对互联网、增值业务等的管理水平都还普遍不足。从中国 10 多年的互联网和增值业务发展过程中，我们看到了很多失败的教训。比如互联网发展初期，很多有实力的 ISP 因为政策问题而破产；而移动增值业务因为管理经



验不足，造成大量的强绑客户、套费等问题，于是前信息产业部不得不出手一系列政策，如移动增值业务必须获得客户的两次确认才能开始收费，才使得 SP 逐渐回归理性。

- 电信网络建设中，采用一家供应商的产品风险很高，相同技术体制的产品一般选择多于一家供应商；但是，由此也带来了兼容性的隐患——多家产品使运营维护和管理调度难度加大，对人员的培训工作、设备故障造成的协调工作难度也都随之加大。思科被称为“互联网的钢筋混凝土”，但是其私有协议 EIGRP 曾经让无数后来居上的路由器供应商陷入极其被动的局面。
- 电信网都带有为公众提供应急服务的功能，因此，其稳定性要求远远高于一般的通信网络。这也给电信运营商的管理提出了诸多难题。为了保证业务不中断，各种备份机制和手段加大了运营商管理的复杂性。
- 国情。我国是个地域宽广、经济发展极不平衡的国家，由运营商总部负责骨干网的建设和维护，各省进行省内骨干网络的建设和维护，接着是地市、县、乡、镇、村等的接入和维护工作。总部和省公司、地市分公司、县级电信单位分布广泛，沟通、协调会存在距离感，这也会增加管理难度。
- 电信运营商的改革，网络多次被拆分、整合，也给管理带来了很多困难。竞争可能造成浪费，但不竞争又对广大消费者不利，对发展新技术、新业务不利。不竞争和过度竞争都会对信息产业长远发展造成负面影响。如何通过宏观调控，把握竞争的有效尺度的问题，是电信运营商和政府主管部门面临的难题。

基于上述原因，电信网的管理复杂性在运营商日常工作中的表现就非常明显，尤其是采用新技术的网络更是如此。我们举例说明。

一般来讲，电信网的生命周期需要有以下几个步骤：市场调研、可行性论证、设计规划、招标选型、建设、维护和业务调度、网络终止服务等。市场调研一般由运营商高层指定多个部门一起讨论；论证过程是由运营商高层指定多个部门一起论证，从技术、市场、商务等多个层面进行分析和讨论，最终得出明确的结论；设计规划和招标选型一般由计划建设部门负责；建设由工程部门负责；维护由运维部门负责。业务调度的触发来自于市场部门，而执行者一般是运营维护部，在两者之间，很多运营商增添了调度部门来统一协调；对于终止服务，各个国家都有自己的政策，一般都是由运营商高层决定。

那么在这一生命周期中，将存在诸多部门之间的诸多协调问题。下面我们举例说明。

- 基于对市场的调研和对新技术的理解，相关机构做出了完整的规划，但是理论上存在这种规划在招标选型过程中找不到合适产品的情况，市场需求调研和具体的实施存在一定的差距，这可能会造成多方面的矛盾。
- 招标选型部门将招标结果确定后，由工程部门与设备制造商进行配合，对电信网络进行建设，对于设备制造商承诺的诸多条款，工程部进行验收，若验收结果与承诺结果不一致，需要进行协商。很多时候，完全满足需求的制造商并不多，甚至可能只有一

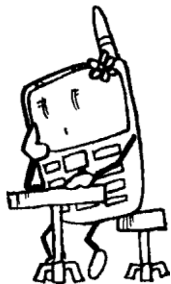


家，如果出现这种情况，更换制造商已经没有可能，这往往会造成工程部门和计划建设部门之间的矛盾。

- 电信运营商和设备供应商（厂家）之间的关系也值得分析和探讨。运营商和厂家之间的关系是设备使用和设备供应之间的关系。厂家不仅提供设备，还要提供相应的技术服务；尤其是对于智能性较高的产品，如路由器、交换机、软件等，因为其开发所要求的技术水平较高，服务水平也要求较高。很多运营商从设备制造商这里购买服务，运营维护还是由运营商的维护工程师负责，一旦出现问题，设备制造商要承担相应责任，这就像购买汽车无需购买开车服务，但需要购买保险。
- 电信运营商与客户之间的关系，虽然说“顾客是上帝”，但是在买卖关系中，究竟甲方做主导还是乙方做主导，还是看其强弱关系。在没有竞争的时代，电信运营商是绝对的主导。比如一个客户根本无法要求电信运营商修改标准合同文本中的霸王条款。随着竞争机制在电信运营领域的逐步引入，电信运营商的强势地位正被逐步弱化。但是任何事物都不是一蹴而就的，就从目前来看，电信运营商在整个通信领域仍然扮演着核心角色，电信服务意识和水平的提高仍需时日！

虽然会有各种各样的矛盾出现，中国的电信业还一直处于高速发展中，不断满足着客户越来越丰富和细化的需求。电信网的管理，就是这些人，就是这些事儿。套用一句流行语来结束本章的内容吧——“与时俱进、继往开来”！

第18章 Chapter 18



业务融合与统一通信

混血儿漂亮，杂交水稻产量大，因为他们（它们）结合了多个品种的优良基因和特点。而业务融合，结合多种技术体制、多种业务类型的优良基因使技术更便利地满足人的需求，从而成为近年来通信界最流行的词汇。

在融合的主旋律大背景下，3C（计算机、通信和消费电子）融合、三网（广电网、通信网和互联网）融合、ICT（IT、通信业）融合、FMC（固网移动网融合）、TMT（通信、媒体和新技术）融合，内容产业和互联网及通信业的融合……凡此种种，不一而足，转眼间“融合”已经成为百川朝宗的浩荡潮流！

在言必谈“融合”、“统一”的今天，老杨认为有必要系统地阐述业务融合和统一通信的出发点和现状。理性的统一让人赏心悦目，而盲目的“组合”则劳民伤财。本章所涉及的内容，就是通信网络为什么要融合、融合的价值在哪里、融合如何实现、融合的现状如何以及融合的未来趋势等。

技术体制的结合（比如MSTP、ASON、VoIP等）和业务的融合，是完全不同的两个概念。前者趋向于技术类型的混合或者组合，后者则是把各种技术类型无缝地整合，完全融入客户的需求中去。业务的融合是深层次的，它首先要求网络建设者从业务拓展角度建立网络，并最大容限地发挥效能，提供更多的增值，同时，也让运营商和服务商更便捷地为公众提供业务。



“分离”的理念：从一个茶馆的故事开始

前文提到过软交换。可能会有这样的疑惑：交换怎么还用硬度来形容？难道还有硬交换不成？事实的确如你所想，“硬交换”客观存在！程控交换机组网就是“硬交换”。这就怪了！在第7章，你老杨为什么没讲这个概念呢？别急啊，各位看官，因为在“软交换”这个名词诞生之前，根本没有“硬交换”这个称谓；当软交换技术诞生的时候，为了与过去的技术对比，才有人形象地将过去的程控交换机的交换模式称为“硬交换”。所谓“软”或者“硬”，都是用来形象地比喻交换的核心部件，交换芯片与控制软件是否分离：如果控制软件独立于交换芯片，则是以下要详细描述的“软交换”，反之，则视为“硬交换”。正是这“不经意”的区别，造就了电信网的根本性变革和业务能力的大幅度提升，也造就了新一代电信网的基础架构！

软交换并不是一种简单地提高交换能力、或者用更先进交换原理替代原有交换原理的技术，而是由增值业务的新需求促成的、崭新的电信网体系架构的技术基础。

在传统电信网增值业务匮乏的状况下，如何改进？当然，最容易想到的办法是：头痛医头，脚痛医脚。不是增值业务匮乏么？我们造啊！让设备开发商和运营商合作，不断在 PSTN、智能网上生成各种增值业务，这不是很好的解决方案吗？诚然，历史上一直在采用这种方法来创造增值业务，800 号、IP 卡、虚拟网、一号通……但是，随着通信行业向纵深发展，增值业务需求不断增大，业务开发速度必须适应市场快速变化，而传统的交换控制和交换逻辑本身的“一体化”造成呼叫流程的修改越来越复杂，“造业务”的压力也越来越大！软交换就是顺应这种需求而诞生的。

如何让更多的人充分发挥智慧和潜能，在电信网络上创造出更多、更新的业务，从而规避“谁制造的电信设备，谁才能在其上实现增值业务”的尴尬局面？

我们可以借鉴机场和航空公司之间的关系。机场和航空运输如果由某个集团一体化运营，会带来很多麻烦：客户没有选择，业务单一，竞争匮乏，任何人要开发新的航线或者提供低折扣的机票，都必须经过这个庞大机构繁琐的流程和制度。这将严重阻碍航空业发展。

电信网与航空业类似，需要有一些措施保证其业务的开放性。

（1）对于航空业，必须改变原来同一个机构又建设和维护机场、又进行航空运输的“大一统”局面，有专门的机构兴建并管理机场，让更多的企业投资做航空运输，各司其职。

对电信网来说，应该能够承载在任何目前的传输网络上，也就是说，应该把交换的呼叫控制功能和具体承载在哪种类型的网络上独立开，也就是“呼叫控制与承载分离”。

（2）对航空业来说，机场必须提供标准的设施，任何希望开展航空运输的经济实体，只要严格按照机场的规定，在各方面资质到位，就可以成立航空公司进行运输运营。

对电信网来说，应该能够提供开放的呼叫逻辑接口，供任何第三方调用，使业务真正独立于网络，也就是“业务与呼叫控制分离”。

（3）航空公司不必关心机场建设的问题，只要根据市场需求建立自己的运营体系，把自己的精力都用来挖掘市场潜力、扩大市场份额、提升服务和降低成本。

对电信网来说，用户可以自行配置和定义自己的业务特征，不必关心承载业务的网络形式以及终端类型。



接下来的问题就是，通信网络应该如何部署，才能不断增加增值业务来满足更多的客户群？这么多的理论知识，是不是有点头大了？休息一下，让老杨带你去喝喝茶，顺便了解一下这家茶馆的老板，是如何把生意做大的。

几年前，老李的一个朋友开了这家茶馆，当时的经营非常类似传统电信运营商建设的电信交换网络——大而全：茶馆里面提供茶水饮料，提供桌椅板凳，有服务员为客户端茶倒水，并雇佣各类专业人士为顾客唱歌、捶背、掏耳朵等，如图 18-1 所示。





图 18-1　茶馆经营活动示例

然而顾客并不满足于当前的这些“增值业务”，他们希望老板提供新的服务，比如希望有麻将牌供顾客玩耍，那么茶馆就要购置麻将牌；一些顾客希望能提供唱英文歌曲的服务，那么茶馆雇佣了几个专门的唱英文歌曲的人。接下来的事情，就是这个茶馆老板要应对不断扩大的员工队伍和不断增加的人工成本。茶馆越来越膨胀，不停地雇佣员工和提供设施，投资不断加大，管理难度也不断增加。唱英文歌的员工，每天都很清闲，来这里大部分是中国人，他们更喜欢听周杰伦或者张学友，一天只会有几个顾客对英文歌曲感兴趣；麻将牌一周可能有三天束之高阁，毕竟不是每桌客人都要来这里打麻将；掏耳朵的员工生意时好时坏，闲下来的时候，他无所事事，唱歌员工的薪资和顾客点歌数量不挂钩，因此经常揶揄顾客，捶背员工的收入也和自己的劳动量不挂钩，因此经常和顾客吵架……这些状况让老板非常头痛，他不但要支付每个月高额的房租、水电、茶叶等的成本费用，还要支付这些员工的薪资、食宿、保险、住房公积金等费用，还要考虑麻将牌的保存、清洗、维护，麦克风坏了还要去维修，桌椅出了毛病还要请木工师傅……不断增加的成本吃掉了利润，茶馆生意岌岌可危！

茶馆老板做不下去了，把茶馆盘给了我们这位主人公——非常聪明且精明的老李。没有金刚钻，老李绝对不揽这瓷器活。他开始考虑茶馆的生意到底怎么做，才能最大化地节省成本又提高利润，以防昨日重现。于是他开始对茶馆的经营进行大刀阔斧的改革（如图 18-2 所示）：他和所有提供“增值服务”的员工签署协议，不再聘用（当然是严格遵照劳动法），而只保留那些负责端茶倒水和收银的服务员。接着他开始打出广告，欢迎有“增值服务”的人或者团队与他联系，比如掏耳朵的个人、捶背团队、租赁麻将的个人、唱歌团队（当然包括唱英文歌的团

队），任何人或者队伍，只要有想法、有一定资金实力和技术，符合该茶馆的风格（比如中式茶馆最好能穿着唐装汉服；唱歌的人最好不要唱摇滚，喝茶的人不希望太闹），就可以来报名。

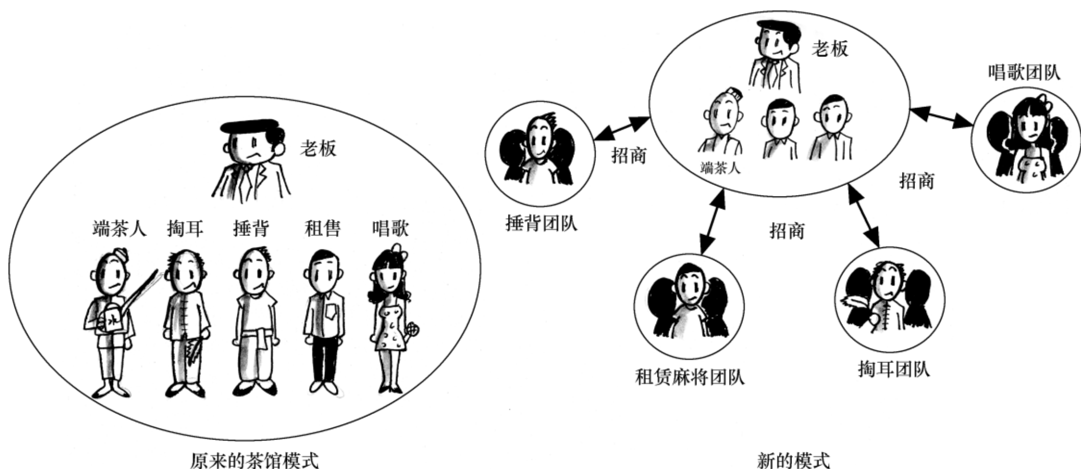


图 18-2　茶馆经营模式的变迁

来报名的人很多。一个有唱歌天赋的人、一个有捶背技能的人，不一定非要投入资金开茶馆才能展现其才华，社会是应该有分工的，符合要求的人或者团队只要来报名，就可以在老李的茶馆施展自己的技能。

接着，老李规定了以下基本规则。

- 所有来茶馆给顾客提供服务的人，都统一通过茶馆向客户报价，并由茶馆代为收费。
- 按照比例或者按照“包月”的形式向茶馆缴纳一定比例的费用（具体采用哪种形式，根据各自的业务特点定义）。
- 每个人的穿着要整洁，必须讲卫生，必须说普通话，不得大声喧哗，不得与客户发生争执，提供服务时不得影响其他顾客，否则将依照协议向茶馆做出经济赔偿。

这种模式的优点显而易见。

- 茶馆可以很容易吸引各种有特色的服务团队来给顾客提供服务。
- 因为不再专门雇佣提供增值服务的员工了，运营成本降低，管理难度降低。
- 提供服务的团队要向茶馆缴费，并且由于大部分利润归自己，而利润多少主要取决于自己的服务质量，因此服务团队的服务意识明显改善，比过去的体制下提供服务的积极性大大提高，服务质量会大幅度提升。
- 服务团队可以不断轮流更替，这样顾客不断有新鲜感。
- 每个服务团队，都要尽力做好自己的专业范围内的工作，并且要不断创新，否则就可能被淘汰，这些团队并不由老李来直接管理，而是由懂这个业务的人来管理，比如合唱团，他们可以自己写歌、自己组织排练、自己选择新歌来唱。这保证了专业的团队做专业的事，避免外行人管内行人的情况，而服务团队的收入也大幅度增加。



顾客数量增多，茶馆总利润持续上升，而成本大幅度降低，这是所有老板都希望看到的。服务团队积极性提高，顾客也愿意支付更多的钱来享受高质量的服务，团队的收入也日益增长。当一个城市有若干这样的茶馆，每个有一技之长的人或团队都可以根据市场状况不断调整自己的日程，可以在多个茶馆中“串场”；各个茶馆也都形成自己的特色。比如某些茶馆都是年轻人来，他们喜欢听流行歌曲，唱流行歌曲的人或团队就可以混迹在这些茶馆中；对于另外一些茶馆，中老年人居多，唱京剧或者表演川剧变脸的人或团队可以在这些茶馆里串场。



我们反思一下这种方式对于电信行业的借鉴意义：开茶馆更多的是建立一个“平台”，平台本身有基础电信业务（喝茶）支撑，还可以利用各种电信增值服务提供商（茶馆的各种业务团队）给客户提供形式多样的增值业务（捶背、掏耳朵、唱歌、唱戏、麻将租赁）。建立茶馆的人不一定而且往往不是歌手、不会掏耳捶背，但是他有资金、有经验，也有灵活的头脑；他开茶馆并向那些提供唱歌、掏耳捶背的人收租即可。

当然，电信运营商（茶馆老板）所提供的电信设施（茶馆里的设施）将具有统一的、标准的、开放的接口（如座位、空间、统一结算付账等）供增值服务提供商做“二次开发”（也就是在茶馆里挖掘更多的客户需求并有团队愿意来满足，从而获利）。

茶馆老板无形中运用了软交换的思想而非软交换技术。这种“分离”的思想，把电信网“大一统”地提供服务的模式彻底颠覆，将原本捆绑在一起的承载体系和业务体系彻底分离，从而激发了人的主观能动性，越来越多具有巨大商业价值的增值业务将不断涌现出来！

软交换的理念，更多考虑的是业务的创新速度而非业务本身。从业务本身而言，软交换和“硬交换”都可以提供数量繁多的增值业务。既然交换的控制部分从交换中独立出来，只要将其标准化，就很容易被更多的人管理和控制。任何人根本不用关心底层交换过程如何，只要有满足市场需求的业务，规划好呼叫流程和商业模式，就可以按照标准定义的函数来写应用了。

以软交换思想为基础，电信专家提出了“下一代网络”的概念——NGN（Next Generation Network）。NGN 不是某个具体协议，也不是某项具体的技术创造或者技术创新，而是在基于任何技术机制的网络架构基础上的、更加符合行业价值链成长的、更加满足客户需求的新一代电信网络架构。

一些非专业人士总一相情愿地认为 NGN 只基于 IP 网，这是片面的理解。虽然以 IP/MPLS 技术为代表的包交换网络一定会成为 NGN 未来最主要的承载网络，但实际上 NGN 可以架构在任何技术体制的承载网络上，包括带有 E1/STM-1 接口的传输网、交换网和带有 IP 接口的互联网或企业 IP 专网。

NGN 改变的不仅仅是某个或者某些通信网的技术细节，而是整个电信运营体系的组织架构，电信主导运营商可能因此而瘦身，社会闲散资源将被充分利用，真正创造“百花齐放、

百家争鸣”的电信增值业务新局面！

在理解所有 NGN 和软交换的概念之前，有必要对 IP 网中的语音信令有基本的了解，H.323、SIP 和 MGCP 以及 H.248/MEGACO，就是这里面的最常用的信令，当然还有一些非主流信令如 IAX2 等。

 几种 IP 呼叫信令——百舸争流

NGN 的承载，将主要采用 IP 网。NGN、软交换的各种实体都将采用 IP 呼叫信令来建立链路，这就像基于 TDM 网络的 PSTN 各个实体之间采用电话信令进行通信一样。最常用的 IP 呼叫信令有 H.323、SIP、MGCP/H.248、SIGTRAN、BICC、IAX2 等，让我们看个究竟吧。

1. H.323 协议简介

在 20 世纪末 21 世纪初，会议电视系统有两种标准：H.320 和 H.323，前者基于 ISDN，后者基于 IP，它们的最初目的是把基于 LAN 的多媒体系统连接到基于网络的多媒体系统上。而以 IP 网络为基础的 H.323 会议电视系统逐渐得到了更广泛的应用。2003 年“非典”肆虐，让会议电视系统更加声名鹊起，成为现代化办公系统和应急系统重要的组成部分。本节介绍 H.323，这是最早的、最成熟也是最繁琐的 IP 呼叫信令协议。

严格地说，H.323 应该叫做一个“协议族”，它是一系列协议组成的“框架性结构规范”，因为它包括了多种 ITU 标准。H.323 架构定义了 4 个主要的组件：终端（Terminal）、网关（Gageway）、关守（Gagekeeper，简写为 GK，也称“网守”）、多点控制单元（MCU， Multi-point Control Unit）。

终端是每个连接的终端设备，它提供与其他节点设备、网关、多点接入控制单元的实时、双向通信，其通信类型可以是包括语音、数据、视频在内的所有媒体。

网关[1]用于建立 H.323 网络终端与应用其他协议栈的网络（更多的是传统的 PSTN）之间的连接。

关守主要负责电话号码和 IP 地址之间的转换。它们还负责管理带宽并提供终端登记和认证机制。同时关守还提供了诸如呼叫传输、呼叫转发等服务，它是整个 H.323 网络的核心部件。

MCU 即“多点控制单元”，一看这个名字，就能猜出来，它负责建立多点会议。MCU 由一个必需的多点控制器和一个可选的多点处理器组成。多点控制器用于呼叫信令、会议控制，而多点处理器用于媒体流的交换/混合，有时也能对视频和音频流进行实时的编码转换。可以想象，会议中各种声音的收集、分发、处理都在 MCU 里面进行。

综合来看，GK 作为核心管理和控制部件，与所有终端建立关系，当有呼叫申请，通过号码把主叫和被叫呼通，并通过 MCU 控制媒体流的混合和分发，形成会议机制。当需要与其他体制的网络互通，如和 PSTN 语音互通，还要通过网关在中间做翻译。这就是一个完整的 H.323 体系。

---

[1] 一般意义上的网关都是指用来连接两种不同网络的设备，而 H.323 系统中的网关则是连接 IP 和 PSTN 的媒介。



H.323 首次发布于 1996 年，目前最新版本是 V5，应用最广泛的是 V4 版本。

2. SIP 简介

前文曾经说过，SIP 被称为互联网最伟大的三个协议之一。会话初始化协议（SIP，Session Initial Protocol）从类似的权威协议——如 HTTP 以及 SMTP——演变而来并且发展成为一个功能强大的新标准。SIP 是互联网爱好者发明的，不用做基因比对，了解它的人都能看出它是典型的"互联网的孩子"，聪明、宽容、外向，因此开放、灵活、可扩展。SIP 激发了 Internet 以及固定和移动 IP 网络推出新一代服务的威力。SIP 能够在多台 PC 和电话上完成网络消息，基于 Internet 建立会话。SIP 也因此让人们感觉到，它在 Internet 上的表现，大大优于现有的多数协议，如将 PSTN 音频信号转换为 IP 数据包的媒体网关控制协议（MGCP，下一节将详细讲解）。使用 SIP，编程人员可以在不影响连接的情况下在消息中增加少量新信息，从而支持新媒体的传送。

由于 SIP 的消息构建方式类似于 HTTP，开发人员能够更加便捷地使用通用的编程语言（如 Java）来创建应用程序。等待了数年、希望使用 SS7 和高级智能网络（AIN）部署呼叫等待、主叫号码识别以及其他服务的运营商，都希望利用 SIP 通过最短的时间实现高级通信服务的部署。

这种可扩展性已经在越来越多基于 SIP 的服务中取得重大成功。预计，SIP 与 IP 的关系将发展成为类似 HTTP 与 Internet 的关系，但也有人说它可能标志着 AIN 的终结。迄今为止，3G 界已经选择 SIP 作为下一代移动网络的会话控制机制，比如 IMS[2] 系统就选择 SIP 作为其基础协议。Microsoft 已经选择 SIP 作为其实时通信策略并在 Microsoft XP、Pocket PC 和 MSNMessenger 中进行了部署。Microsoft 同时宣布 CE.net 新版本将使用基于 SIP 的 VoIP 应用接口层，并承诺向用户 PC 提供基于 SIP 的语音和视频呼叫。

然而，SIP 并不是万能的。它既不是会话描述协议，也不提供会议控制功能。另外，SIP 自身不提供 QoS，它与负责语音质量的资源保留设置协议（RSVP）配合使用才能实现对带宽的管理。许多标准都可以和 SIP 协作实现丰富的功能，如负责定位的 LDAP[3]，可以作为一个集中的通讯录使用，如负责身份验证的 RADIUS，以及负责实时传输的 RTP，用于媒体流的实时传送。

SIP 出现于 20 世纪 90 年代中期，源于美国哥伦比亚大学计算机系副教授 Henning Schulzrinne 及其研究小组的研究。Schulzrinne 教授除与其他人共同提出通过 Internet 传输实时数据的实时传输协议（RTP）外，还与人合作编写了实时流传输协议（RTSP）标准提案，该协议用于控制音频视频内容在 Web 上的流传输。

Schulzrinne 本来打算编写多方多媒体会话控制标准。1996 年，他向 IETF 提交了一个草案，其中包含了 SIP 的雏形。1999 年，Shulzrinne 在提交的新标准中删除了与媒体内容方面的无关内容。随后，IETF 发布了第一个 SIP 规范，即 RFC 2543，并于 2001 年发布了 RFC 3261。

---

[2] IMS 的英文全称是 IP Multimedia Subsystem IP，指多媒体子系统，下面几节会详细介绍。

[3] LDAP 的英文全称是 Lightweight Directory Access Protocol，指轻型目录访问协议，一个用来向许多不同资源发布目录信息的协议。

RFC 3261 的发布标志着 SIP 的基础已经确立。从那时起至今，IETF 已发布了几个 RFC 增补版本，充实了安全性和身份验证等领域的内容。

在此列举一种第三方呼叫控制的呼叫流程。第三方控制指的是由第三方控制者在另外两者之间建立一个会话，由控制者负责会话双方的媒体协商。第三方呼叫控制通常用于会议、接线业务（接线员创建一个连接另外双方的呼叫）。同样，使用 SIP 也可以借助第三方呼叫控制来完成许多业务，例如点击拨号、通话过程中放音等，而且实现起来非常方便。图 18-3 示出其中一种呼叫流程。

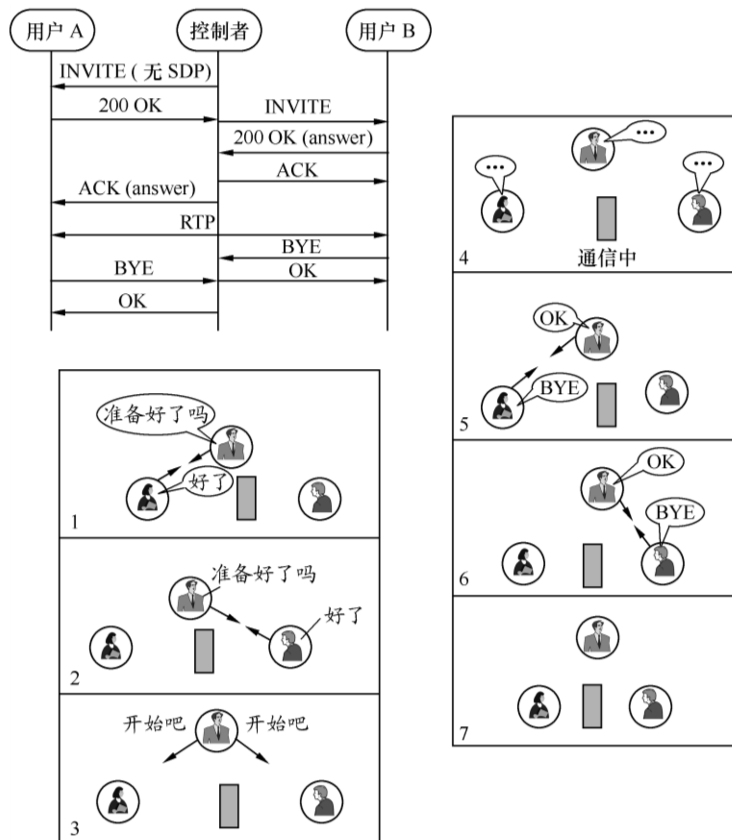


图 18-3　SIP 的呼叫流程

3. H.323 还是 SIP，这是一个问题

软交换技术中最常用的 IP 呼叫协议，是 H.323 和 SIP。关于 H.323 和 SIP 孰优孰劣的问题，在软交换界长期争论却难有定论。

H.323 和 SIP 分别是通信领域与互联网两大阵营推出的建议，看看它们各自的倡导者——ITU 和 IETF，你就能想象它们之间的竞争一定非常惨烈并且一定会长期存在。H.323 试图把 IP 电话当作是众所周知的传统电话，只是传输方式发生了改变，由电路交换变成了分组交换。而 SIP 侧重于将 IP 电话作为互联网上的一个应用，较其他应用（如 FTP、E-mail 等）增加了信令和 QoS 的要求。



H.323 和 SIP 支持的业务基本相同，也都利用 RTP 作为媒体传输的协议，但 H.323 相对复杂。

H.323 采用一种被称为 ASN.1 的协议和压缩编码规则的二进制方法表示其消息，而 SIP 基于文本协议，类似于 HTTP，简单易懂。

在支持会议电话方面，H.323 由于由多点控制单元（MCU）集中执行会议控制功能，所有参加会议终端都向 MCU 发送控制消息，MCU 可能会成为瓶颈，特别是对于具有附加特性的大型会议；H.323 不支持信令的组播功能，其单一的功能限制了可扩展性，降低了可靠性。SIP 设计上就是分布式的呼叫模型，具有分布式的组播功能，不仅便于会议控制，而且简化了用户定位、群组邀请等，能节约宽带。但是 H.323 采用集中控制，便于计费，对宽带的管理也更加简单、有效。

H.323 中定义了专门的协议用于补充业务，SIP 并未专门定义，但它也可以方便地支持补充业务或智能业务。

总之，H.323 沿用了传统的实现电话信令的模式，由于使用时间早，应用量较大。H.323 符合通信领域传统的设计思想，进行集中、层次控制，采用 H.323 协议便于与传统的电话网相连。SIP 协议借鉴了互联网其他标准和协议的设计思想，在风格上遵循互联网一贯坚持的简练、开放、兼容和可扩展等原则，比较容易被大众接受。

SIP 的成功让老杨感慨万千，从很多角度来看，SIP 都应该成为主流。

4. MGCP 与 MeGaCo/H.248

MGCP（媒体网关控制协议）一般应用于分开的多媒体网关单元之间。通过 MGCP 呼叫组成的网络，有两个基本部件——负责媒体控制的被称为 MGC（媒体网关控制器），负责媒体处理和转换的叫做 MG（多媒体网关）。MGC 执行对媒体网关的管理、控制，而 MG 执行诸如由 TDM 语音到 VoIP 的转化。MeGaCo/H.248 则被看作是 MGCP 的升级版本。关于 MGCP 和 MeGaCo/H.248，需要知道以下几点。

- MGCP 和 MeGaCo 是 IETF 的 Draft，而 H.248 是 ITU-T 的标准；MeGaCo 是 IETF 和 ITU-T 第 16 工作组共同努力的结果，因此 IETF 定义的 MeGaCo 与 ITU-T 推荐的 H.248 基本相同。（**注意，是“基本相同”。**）
- MeGaCo/H.248 与 MGCP 在本质上非常相似，但是 MeGaCo/H.248 支持更广泛的网络，如 ATM。
- MGCP 是应用层协议，主要作用是定义 MGC 和 MG 之间的行为，实现简单，因此其互通性和支持业务的能力受到限制。
- 为了实现呼叫和承载分离，网关必须分离，于是 H.248 和 MeGaCo 应运而生。这两个协议对 MGCP 进行扩展，提供控制媒体的建立、修改和释放机制，同时也可携带某些随路信令，支持传统网络终端的呼叫，是媒体网关和软交换之间的主流协议。
- 在 MGCP 模式中，网关主要负责音频信号转换功能，呼叫代理主要处理呼叫信令和呼叫处理功能。因此，呼叫代理实现了 H.323 标准信令层并充当了“H.323 关守”或 H.323 体系的一个或多个“H.323 终端”。

5. BICC 协议

随着数据网络和语音网络的、融合业务越来越多，PSTN 的 64kbit/s 的承载能力局限性太大，分组承载网络除 IP 网络以外还有 ATM 网络，但 IP 分组网不具备运营级质量，为了在扩展的承载网络上实现 PSTN，就制定了 BICC（Bearer Independent Call Control）协议。

BICC 协议也解决了呼叫控制和承载控制分离的问题，使呼叫控制信令可在各种网络上承载，包括 MTP SS7 网络、ATM 网、IP 网。BICC 协议由 ISUP 演变而来，是传统电信网络向综合多业务网络演进的重要支撑工具。

6. SIGTRAN 协议

SIGTRAN 是 IETF 的一个工作组，其任务是建立一套在 IP 网络上传送 PSTN 信令的协议。对应于 PSTN 的 SS7 各层信令，SIGTRAN 协议定义了 IP、信令传输、信令传输适配和信令应用 4 层，提供和 SS7 MTP 同样的功能。可以想象，SS7 已经足够复杂，而基于 IP 网络传送 SS7 的各层信令，又会增加许多新的难题！有了 SIGTRAN，PSTN 上的智能网业务，就可以与 NGN 的业务进行互通了，这是 SIGTRAN 最大的现实意义。

7. IAX2

IAX2 是全球最著名的 IP-PBX 开源代码 Asterisk[4] 所支持的一种专用信令，全称为 Inter-Asterisk eXchange，即 Asterisk 内部交换协议。但是 IAX 的一个比较特殊的地方则是它仅仅使用一个 UDP 端口 4569 来传输通道信号以及 RTP 流。由于单端口更集中，IAX 更加适合 NAT 环境以及对防火墙的穿透。现在 IAX 版本为 IAX2 版本，版本 1 已经被淘汰了。2009 年 2 月，IAX2 进入 IETF 的 RFC。



VoIP——忆往昔峥嵘岁月稠

1995 年 2 月 15 日，一个名不见经传的以色列公司 VocalTec 的两位 30 岁左右的创始人 Alon Cohen 和 Lior Haramaty 突发奇想，推出了一个软件怪物。至少在当时，人们都认为这的确是一个怪物——连开发者本人都没有意识到，他们拉开了改变电信业百年传统经营方式的大幕。VoIP 由此诞生！

这个软件怪物在今天的人看来其实很简单，可以在刚刚兴起的互联网上的两台 PC 之间传送话音业务。这款软件叫做“Internet Phone”。在此之前，电话网和互联网唯一的结合点是利用电话网的接入电缆实现互联网的接入（拨号上网或者 ISDN，充其量还有 xDSL）。

紧接着的 1996 年，美国的 IDT 公司在贝尔发明电话 120 年的纪念日发布了一款让 120 年后的贝尔系公司都叹为观止的软件——Net2Phone，各位看看这个名字，就大概能猜到，这是一款通过 PC 拨打普通电话的软件，而在网络（Net）和 PSTN（Phone）之间，建立了一条“落地”的通道，这就是 Net2Phone 的创举！因此，与当时的 VocalTec 不同，Net2Phone 不以销售点对点通话软件为获利之道，而是组建网络后，把服务卖给顾客，让顾客享受低

---

[4] “星号”的意思，Digium 公司创始人马克 · 斯宾塞于 2000 年开始开发，目前全球流行。目前业内绝大部分的 IP-PBX 都是基于 Asterisk 开发的。



廉的通话资费。IDT 当之无愧地成为通信史上第一个 VoIP 运营公司！Net2Phone 于 1999 年包装上市，IDT 占有其大部分股份。一时间，新颖的商业模式让 Net2Phone 风靡全球，一堆堆的 IT 公司，如康柏、Linksys、三星、3COM 纷纷宣布产品支持 Net2Phone。但因资本运作失败，IDT 回购其股票，Net2Phone 于 2006 年退市。

如果说是 Vocaltec 创造了 VoIP 技术的神话，将世界通信引入一个新的领域，那么 Net2Phone 是当之无愧的商业领袖，它 N 年前创造设计的各种商业模式，今天还被很多人当作新发现，乐此不疲地忙着推广。今天以节约话费为目的的 VoIP 运营商多如牛毛，但随着话务资费的进一步降低，已经日渐衰落。但是，人们同时又发现，基于 IP 的语音能够给人们带来的不仅仅是话费的降低，它还有更加引人入胜的特点。这在下面 NGN 和软交换的业务介绍中会一一指出。

VoIP，其实就是将语音的媒体流从 TDM 转换到 IP 网络的所有技术体制的总称。由此，开启了语音分组化的大门！VoIP 技术为 NGN、软交换技术提供了丰富的历史经验和教训，并成为这二者的重要技术基础。比如 H.323 协议，就是由刚才讲到的 Vocaltec 公司起草，并最终正式成为国际标准的。



NGN——万般业务竞自由

有了上面的技术基础，我们再次回到这个“非技术”但是又“非常技术”的名词——NGN。NGN 被定义为一种全新的电信网络体系架构，它融合了 IP/MPLS 技术和多媒体通信技术，提出了分层和开放的概念，从面向技术和管理的传统电信网络转变成面向客户、面向业务的新一代网络，用专家的话说，“NGN 网是业务驱动型网络架构”。

关于 NGN 的概念，首先要说明，在其被提出之前，并没有“上一代”网络之说，但是逻辑上的上一代网络，应该是以交换能力和封闭的业务功能为核心的电信网络。那么，如果未来有了比 NGN 更先进的理念，我们该如何称呼？说实话，专家们也并没有认真去研究。通信行业总是这样，每个新的思想，都被人们寄予厚望，并希望是最终的、最完善的、最完美的。但是事实上，从来没有哪个技术能够赢得永远的未来。NGN 之所以被专家称为“下一代”网络，是因为它是面向业务的，而非面向传输、交换、路由、无线、多媒体等技术细节的。它的包容性，让电信业者有理由相信，未来无论细节技术如何发展，面向业务的理念，将永葆青春。如果这个理念成立，那么 NGN 将是未来相当长时间（也许是永远）人们追求的目标。

现实中的 NGN，只能说是一个正处于发展中的新思维方式，还需要不断去完善，随着大量基础技术的发展，它也要随之发展。如任何新生事物一样，目前 NGN 从信令系统到体系结构都还处于初级阶段，很多关键问题仍在探索之中。专家们开出了一堆病症，等待良医去诊疗——网络安全、承载网的 QoS、网络互连互通、业务开发、网络管理、兼容性等。

1. 国内外 NGN 网络发展及现状

1996 年，美国克林顿政府提出了下一代互联网（NGI）行动计划。随后，国际通信界诸多

大腕制订了大量分别由大学、政府部门、行业团体、标准化组织和公司参与的 NGN 行动计划。1997 年开始，每年都在美国举行两届大型的 NGN 国际会议，讨论电信网络下一代应如何发展。但是，时至今日，一些基本问题似乎还在争论之中，例如：NGN 到底是什么？NGN 到底解决哪些问题？有趣的是，这样一个未严格澄清的概念，却在这十多年来以极快的速度在世界范围内推广和应用。如果真的要盘根问底，为什么会出现这样的情况，可以从市场需求角度分析。第四次产业革命的浪潮席卷全球，新的需求不断涌现，生产力高速发展，势必要求生产关系与之适应，即使没有严格的规范和清晰的界定，大量电信运营商已经应用了 NGN 的思想，并组织产品不断满足自身扩张业务的需要，让专家们继续讨论吧，我们要先玩起来了！

在 NGN 部署的问题上，全球老牌的电信运营商都抱着务实、谨慎、乐观、保守的态度，从 PSTN 向 NGN 逐步过渡；而新兴的电信运营商似乎对 NGN 网络更感兴趣，他们胆子很大，步伐更快，随之而来的风险也更大。比如美国著名的虚拟运营商——Vonage，就是 NGN 业务开拓的先驱；但由于主流电信运营商的垄断很难在短时间内被打破，而 Vonage 没有自己的 IP 承载网和接入网，它不得不把自己的 NGN 架构在这些主流运营商身上，却以“节约费用”为噱头挤压被革命者的利益，而新的杀手级应用无论技术上还是市场上都尚未成熟，难以为它带来盈利。

NGN 在全球建设需要经历 4 个阶段：尝试阶段、试验阶段、规模部署阶段和大规模应用、稳定阶段，如图 18-4 所示。NGN 建设初期，尝试不可避免，摸着石头过河，既适用于中国的改革开放，也适用于 NGN 的部署。



图 18-4　NGN 的 4 个发展阶段



2. NGN 的关键技术

NGN 采用的核心技术是软交换，图 18-5 示出的是国标标准中关于软交换的功能结构图。

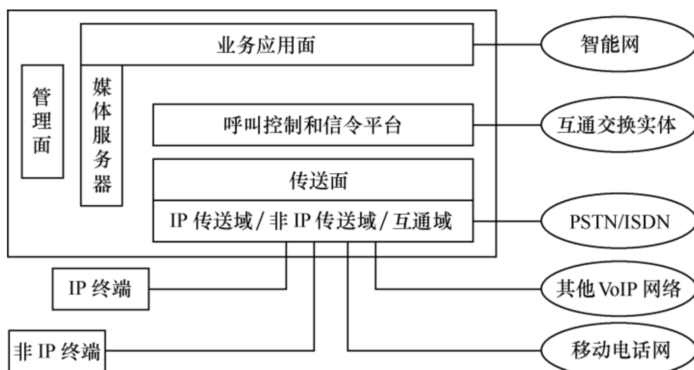


图 18-5　软交换在 NGN 中的位置图

从图中我们可以清晰地看到两个重要特征。

- 承载与控制分离：控制，是指对 NGN 中所有组成部件的协调、组织和管理；而这种控制，不依托于任何一种承载网络。IP/MPLS、ATM、TDM、帧中继，哪个都行。从这一点上讲，NGN 有着博大的胸怀。
- 业务与呼叫分离：呼叫与业务密不可分，但业务过多地与具体的呼叫逻辑纠缠在一起，业务有一种“拔不出来”的感觉。如果在两者之间有一个清晰的界面，而呼叫逻辑被封装成几个标准的 API，那么新的业务只需要调用这几个 API 就能轻松实现，这绝对是个上佳的方案！NGN 就是这么做的！

从发展角度来说，NGN/软交换是从传统的以电路交换为主的 PSTN 逐渐迈向以分组交换为主的数据网络的产物，它可以承载原有 PSTN 的所有业务，并把大量的数据传输“卸载”到 IP/MPLS 网络中，以减轻 PSTN 的重荷，同时又由于采用 IP 技术而增加和增强了许多新老业务。从这个意义上讲，NGN/软交换是基于 TDM 的 PSTN 语音网络和基于 IP/MPLS 分组网络融合的产物，它使得大量语音、视频、数据相结合的业务类型在 NGN/软交换上得以轻松实现。

接下来一个问题很关键：NGN 时代到来以后，是不是 PSTN 就像跌停的大盘一样无人问津了？不！巨大的已有投资让任何经营者都不敢轻言放弃。未来 NGN 一定在相当长时间内与 PSTN 共存。

从目前的应用来看，NGN 在长途、汇接层面的语音应用较为普遍，在 PSTN 端局替代和增值业务提供方面的尝试刚刚开始。

在业务的提供方面，NGN/软交换网络具有以下特点：

- 平滑继承 PSTN 的语音业务和智能网业务。
- 语音增值业务提供能力更为灵活，且具备支持多媒体业务的能力。

3. NGN 的主要特点

架构开放、业务驱动、支持分组化承载和拥有独立的网络控制层，是 NGN 架构最大的特点。

另外，网络互通和网络设备网关化、多样化接入方式、提供多业务支持、网络覆盖面广，都是 NGN 能够成为未来电信基础架构的重要依据。

NGN 是一个哲学课题，它教给运营者如何点石成金！

4. NGN 发展中存在的问题

（1）网络安全的噩梦

不安全的网络就像一个噩梦。而 NGN 的一个特点是开放性端口增多，这导致其安全性下降。交换网络本身的安全，必须由其承载网——IP 网的安全策略来保障，因此这张 IP 网和其他 IP 网必须隔离。要保证用户的账户信息和通信信息不被非法的第三方窃取和监听，必须考虑相应的安全认证策略。这给 NGN 带来了超高的复杂度。

（2）承载网 QoS 的无奈

NGN 承载网将采用以 IP 为主流的分组网络。但是，IP 网本身的 QoS 问题并没有彻底解决，MPLS 的大规模应用还需要时日。能否以及如何为 NGN 所承载的话音及视频等实时业务提供所需的 QoS 服务保证，是 NGN 发展所面临的主要问题。

与解决安全问题的策略一致，基础电信运营商建设 NGN，往往采用专门建设一张新的 IP 网的形式，比较典型的，如中国电信的 CN2，这是一张“保养”非常好的 IP 网，被称为“轻载网”。而非基础电信运营商就必须架构在基础电信运营商的网络上，其 QoS 受到基础运营商的制约，这自然是一种无奈的状况。

（3）网络互连互通的尴尬

随着 NGN 技术的不断发展，协议本身也需要根据业务需求不断完善和补充。先实施后标准化往往会带来各厂家在协议一致性上的混乱。因此就造成当前的互连互通状态极其尴尬的局面，如果不尽快结束这种状况，NGN 发展将陷入一个瓶颈。IP 信令的多种多样并不是一件好事。专家们已经意识到了这个问题。比如在我国，通信标准化协会从 2001 年起就开始制定软交换系统相关规范及标准，这些规范的出台对国内 NGN 网络的互连互通会起到至关重要的作用。

（4）业务开发正在探索

NGN 的业务层是对网络运营商、ISP、ICP、ASP 和用户完全开放的，他们都可以在 NGN 的业务层上创建业务、经营业务。最典型的是 VoIP，网络运营商提供电话到电话的 IP 电话服务，ISP、ICP、甚至用户可以开展 PC 到 PC 的 IP 电话服务，能够快速、灵活地提供丰富的业务，这是 NGN 的一个优势，但目前厂家能够提供的业务多集中在基本语音业务及补充业务、智能网业务、多媒体终端之间的同步浏览、统一消息、多媒体会议等方面，究竟哪些业务才是真正给电信运营商带来巨大收益的 Killer Application[5]，技术专家和市场开拓者们至今还在苦苦探索之中。

（5）网络管理亟待完善

资源永远是有限的，这是一个古老的哲学命题。不管哪个时代，网络资源都是有限的，

5 就是“杀手级业务”。



即使在 NGN 时代也是如此。要使 NGN 有序、有效地发挥作用，管理是十分重要的。管理的目标是节约资源和充分利用资源，在这一点上，NGN 管理包含的网络资源管理和用户管理，都紧密围绕着上述两个目标。网络资源管理与现在的电信网的网管功能基本相同，具有 TMN 架构的五大管理功能。NGN 也采用网元管理、网络管理和业务管理的分层管理模型。其中 NGN 的安全管理、NGN 中端到端的 QoS 管理和众多运营商网络的协调管理都是 NGN 的网络资源管理的重大课题，在这几方面，至今没有很好的解决方案。

5. NGN 发展的前景展望

“融合”可以向用户提供各种形式的业务和“一站式”的服务，使用户不管是在固定环境中还是在移动环境中都能享受同样的服务；融合还给运营商带来增加收入的机会，减少引进新业务的风险，特别适合全业务的经营。而 NGN 的目标就是这样一个能够提供多种业务的融合网络。

“融合”是大势所趋，它将打破产业发展的瓶颈并形成对分业经营行业架构的有力挑战。在产业融合的大背景下，有效竞争将成为健康电信市场的合理取向和政府监管的现实选择，融合将有力地推动电信市场化并进一步深化信息产业改革，任何试图阻挡融合大潮的体制和做法都是不可能持久维系的！

在 2008 年行业转型的大背景下，全业务运营成为中国各大运营商考虑得最多的问题，而全业务运营必然要求在网络和业务层面全面实现固定移动融合。从网络发展的趋势看，固定移动融合（FMC[6]）是网络发展的目标和方向，FMC 首先是业务层的融合，如业务捆绑销售，但 FMC 的最终演进方向必然是网络层的融合。而 IMS 为 NGN 指明了融合的方向。

目前，运营商向 NGN 演进的过程中，还存在一些重大挑战，如在网络层面，如何处理保护原有的网络投资和整个网络演进之间的矛盾，如何使单一融合网络能有效地承载所有业务？在业务层面，如何提供真正对用户有吸引力的新业务，如何应对互联网上业务的竞争？这是运营商面临的最大课题。虽然说 NGN 可以提供这样那样的新业务，但这些业务对用户是不是适合？是不是能够给运营商带来收益？这是问题的关键点。所以，很多内容需要继续探讨，继续发展，但是 NGN 以业务为导向是大势所趋，潮流已无法阻挡！



软交换的技术实现——对外开放，对内搞活

最基本的 VoIP 运营系统就是由软交换、落地和终端组成。绝大部分的 VoIP 虚拟运营商采用这种简单的体系，向用户提供分支机构互连、拨打固定电话或者移动电话的业务，赚取客户拨打电话费用和运营商落地结算费用之间的差价。

1. 软交换体系的基本参考模型

在传统的程控交换网统治电信网的时间里，增值业务是个奢侈的服务。任何有创意的想法，从开始部署到实现业务，都是极其漫长的过程。造成这种状况的根本原因是增值业务承载在封闭、专用的 PSTN 上，这些“创意”必须架构在 PSTN 所用的产品上。不同厂家的交

[6] FMC 是指一个即定的网络中，向终端用户提供业务或应用的能力和机制，与固定/移动接入技术和用户位置无关。在 NGN 环境中，FMC 意味着向终端用户提供与接入技术无关的 NGN 业务（ITU-T 的定义）。



换机，对某个特定“创意”的支持能力都是不一样的。

这种封闭、孤立以及不开放、不灵活的状况，在智能网建设起来以后有所改变。但是智能网的核心技术——七号信令，又极其复杂，在其上开发增值业务，仍然不是那么容易的事情。

我们再看 IP 网络的发展。IP 网因其开放、融合的特性，在全球迅速蔓延，并形成了强大的业务开发群体。

因此有专家在 20 世纪 90 年代开始呐喊：未来电信网，将架构在 IP 网络上。但是这种呼声太早了，当时，B-ISDN 的梦想正在通信人内心深处跃跃欲试，ATM 技术正大放光彩，人们正在赋予它更多的想法；而 IP 网作为未来电信网核心的理念，直到 NGN 被提出后才真正被人重视，B-ISDN 的梦随着 ATM 应用的严重萎缩而破产，一切都预示着 IP 网将统治整个通信网！

有了客户的业务需求（天时），有了 IP 网络高速发展的基础（地利），也有了业内的统一思想和标准化组织的不懈努力（人和），软交换技术浮出了水面。

回想一下程控交换机，它的外接口线部分和内部控制部分是一体的，如果我们把它拆开，中间通过 IP 网连接，会如何呢？控制部分单独存在，它就像人的大脑，而外接口线也单独存在，它就像人的四肢，它们之间通过 IP 网络交互控制信息，就需要传送指令的“神经系统”，而这种“神经系统”则是由 H.323、SIP、MGCP、H.248 等信令体系来完成。

一个标准的软交换网，就包含上述的两类重要部件——被拆解下来的“内部控制部分”和“外接口线”。内部控制部分的功能，通过采用通用的 CPU 或者专用高端 CPU，加入 IP 端口，采用标准信令呼叫协议（如 H.323 或 SIP 或其他），并提供标准的增值业务开发 API，就成了一个软交换服务器（“大脑”）。外接口线部分增加 IP 端口后，加入适当的逻辑控制部分，就成了我们常说的“网关”（Gateway）或综合接入设备（IAD，Integrated Access Device），网关和 IAD 就是“四肢”了。

软交换不但可以平滑继承 PSTN 的语音业务和智能网业务，还使得语音增值业务提供能力更为灵活，并且具备支持多媒体业务的能力业务设计与部署更为灵活快捷，并支持第三方业务的开发和部署能力，极大地丰富了业务和应用。例如，当前主要开展的业务有：一号通、彩铃、IP Centrex、Web800、视频通信、统一通信等。

2. 软交换及其周边的功能实体

软交换通过各种协议与各个功能实体通信，软交换的功能实体如图 18-6 所示。

看上图中，虚线方框框住的部分就是软交换的功能实体图。和软交换要直接打交道的东西还真不少呢！方框的下面，用户接入网关、综合接入设备解决用户的数据、语音等的接入要求；方框的左边，通过信令网关与 SS7 网互通，通过中继网关与 PSTN 互通；在方框的上方，是用于认证、鉴权的 AAA 服务器，用于管理整个软交换体系的网管服务器，以及用于提供增值业务的应用服务器组；方框的右边，是与其他软交换体系，或者与其他 IP 增值业务网的互连互通。软交换就处于核心的位置。



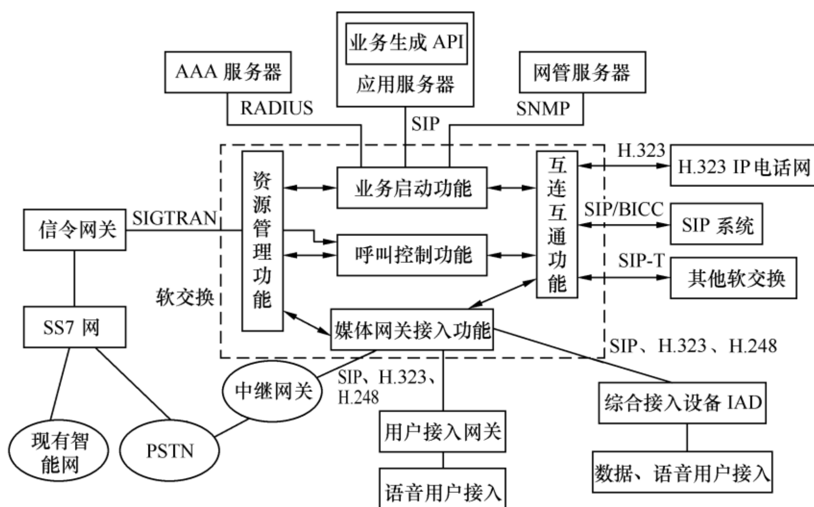


图 18-6　软交换功能实体及中间的联系

要研究软交换，就得研究所有和软交换有关的功能实体。下面来看上图中的几个基本部件：

（1）**呼叫控制**：主要完成用户认证、地址解析、带宽管理、计费等功能。完成终端与软交换之间的登记注册、授权许可、带宽改变、状态和脱离解除等过程。这是软交换本身的核心功能实体。

（2）**应用服务器**：在 IP 网内向用户提供多种智能业务和增值业务。

（3）**信令网关**：是 SS7 与 IP 网的边缘接入和收发信令消息的信令代理，信令网关主要完成信令消息的中继、翻译等。信令网关功能可以和媒体网关功能集成在一个物理实体中。

（4）**媒体网关**：用来处理电路交换网和 IP 网的媒体信息互通。按照媒体网关设备在网络中的位置及主要作用，可分为以下几类：

- **中继网关（TG）**：主要针对传统的 PSTN/ISDN 中 C4 或 C5 交换局媒体流的汇接接入，将其接入到 IP 网络，实现 VoIP 的功能。
- **接入网关（AG）**：接入网关负责各种用户或接入网的综合接入，如直接将 PSTN 用户、以太网用户、ADSL 用户或 V5 用户接入。这类接入网关一般放置在靠近用户的局端。
- **终端网关**：终端网关通过各种 IP 信令协议与软交换互通。软交换的终端类型繁多，如软电话、IAD、IP 电话机、IP-PBX，也可以是另外一个软交换。软电话[7]是在计算机、手机或者能接入互联网的任何用户可视终端上安装的软件，它把计算机变成了一

[7] Softphone，计算机上运行的软件电话。

台网关；它除了有与电话拨号盘类似的界面外，内部有 DSP[8] 机制。

 实时传输协议（RTP）——鹰击长空，鱼翔浅底，媒体实时流

前文老杨多次提到，IP 是网络层协议。在互联网众多协议中，IP 层和应用层之间是传输层，这一层使用的主要协议是面向连接的 TCP 和非面向连接的 UDP。

TCP 是面向连接的，所有开发 VoIP 的人往往首先想到 TCP——可靠传送，舍我其谁？但是事情仿佛总是在跟人类开玩笑。由于 TCP 要经常重发 IP 层因差错而抛弃的部分，这反倒让实时的 VoIP 通话失败率更高！这可是个致命问题！而恰恰是不被人看好的 UDP，却承担了 VoIP 的大任。原因只有一个——UDP 不需要重发。有人要问了，UDP 是无连接的，怎么能传送实时性要求高的 VoIP 业务呢？是的，这是个问题，UDP 是无连接的，这使得 IP 传送语音包经常发生错乱情况，影响语音通信的正常进行。那么就需要用一些新的工具，规避或者尽量规避错乱现象的发生。比如在起点给每个语音包打上标签，标上号码，到达终点后按照标签号码重新排列。

在哪里打标签呢？当然是 IP 数据包内部喽！IP 数据包头中有一个 8 位的指示“协议类型”域，一共可以定义 256 种协议类型，并且有大约 200 种类型已经被定义，其中就有传送实时媒体流所需要的 RTP。RTP，全称 Real Time Protocol，学名“实时传输协议”。RTP 通常使用 UDP 来传送数据，也可以在 TCP 或 ATM 等其他协议之上工作。

有了 RTP，实时媒体流传送就无忧了！是这样吗？所有老杨的此类假设，都是以“No”来回答的，这次也不例外。真正能够保证媒体流实时传送的只有网络质量，而 RTP 只是 IP 数据包在网络上通过“尽力传送”达到目的地后，提供必要的方法来管理这些数据——按照 RTP 规定的编号重新排列这些数据，比如它可以打时戳、编序列号、发送监控负载标识，尽可能保证实时业务在 IP 网中实时传送，仅此而已。但这已经能解决实时媒体业务的很多问题了。

解决 IP 网络上实时媒体传送，更完善的解决方案是 RTP 结合 RTCP 使用。刚才讲到，RTP 本身并不能为按顺序传送数据包提供可靠的传送机制，也无法规避网络拥塞。但如果它和 RTCP 配合使用，就可以由 RTCP 提供这些服务。RTCP 触发每个参与通话者周期性地传送 RTCP 包，其中含有已发送数据包的数量、丢失数据包的数量等统计资料。发送方可以利用这些信息动态地改变传输速率，甚至改变有效载荷类型，这样做的好处，是让实时性业务走在前面，非实时性业务走在后面甚至被丢弃。RTP 和 RTCP 配合使用，能以有效的反馈和最小的开销使传输效率最佳化。

与实时媒体有关的还有一种实时流协议（RTSP），它是由 Real Networks 和 Netscape（哇，Netscape 真的无处不在！）共同提出的、用来定义多种应用程序如何有效地通过 IP 网络传送多媒体数据的协议。RTSP 在体系结构上位于 RTP 和 RTCP 之上，使用 TCP 或 RTP 完成数据传输。

---

[8] DSP 的英文全称是 Digital Signal Processing，数字信号处理，是对数字信号的编解码处理机制。



实时媒体在 IP 网络中的传送，对 IP 为基础的未来通信网络具有重大的战略性意义。



IP 网络的语音编码——谁主沉浮？

在 IP 网络上传送语音，可以对数字语音编码进行压缩后传送，这样的好处不言而喻：节省带宽资源，减少语音时延，在无法保证质量的 IP 网络上尽可能完好地传送语音信号，让通话双方更满意。但是，事物总是平衡的，节约了带宽，也不可避免地损失了声音的信息，其质量自然会有所损失，无法与非压缩的语音质量相媲美。鱼和熊掌，在通信界一次次地要做出选择。下面介绍的几种 IP 网络语音传送编码，是目前应用最广泛的。

1．G.711

G.711 编码是指用一个 64kbit/s 未压缩通道传输语音信号，这种 64kbit/s 的通道，可以是 TDM 的 E1 通道，也可以是 IP 通道。如果采用 IP 通道，一般在 IP 网络边缘将 PCM 的 64kbit/s 语音信号直接“塞入”IP 数据包后进行传送。在 IP 网络质量完全有保障的前提下，使用 G.711 格式，音质与 PSTN 是没有区别的；在 IP 网络质量无保障的情况下，使用 G.711 格式会有较大隐患：IP 网络稍有问题，如某个时刻发生网络拥塞，语音质量将严重下降。

因此，一般在带宽极其充裕的 IP 网络内，如局域网、行业专网，才会使用 G.711 编码格式，在大部分广域网范围内，普遍采用以下几种压缩编码。

2．G.729

G.729 是 ITU-T 制定的，它提供了分组化语音应用所需的“静音抑制”算法，G.729 对语音进行编码和压缩，使语音的传输速率降低为 8kbit/s 即可。

G.729B 的标准出自 ITU-T 的 G.729 建议书，它是 G.729 的增补版，其主要目标是在 IP 网络质量无法保证的情况下，提高 IP 网使用效率的算法。为了在 IP 网络上传送语音业务，G.729B 竭尽所能，VAD（静音检测）、DTX（断续传送）、CNG（静音抑制）配合使用，让音质尽可能清晰、流畅、优美。

3．G.723

G.723 也是 ITU-T 制定的，不过它是双速率语音编码，它可以工作在 5.3kbit/s 和 6.3kbit/s 两个方式上，相应地，分别采用两种复杂的技术——代数码激励线性预测（ACELP）和多脉冲最大似能量化（MP-MLQ）。从应用者角度来说，G.723 是压缩率较高的 IP 语音编码，与 G.729B 一样，在 VoIP 系统中获得了广泛的应用。

实际上，大量的 VoIP 系统都采用 G.711、G.723 和 G.729 混合编码。

4．iLBC

iLBC 编码格式是一种特别适合互联网传送的编码方式。无论在高丢包率条件下还是在没有丢包的条件下，iLBC 的语音质量都优于目前流行的 G.723、G.729 等标准的编解码；而且丢包率越大，使用 iLBC 的语音质量优势越明显。通常情况下，为了衡量 IP 网络语音质量，将≥5%丢包率的网络情况定义为 VoIP 的极限网络条件。经过语音质量测试，即使在 5%丢包率的情况下，iLBC 仍然能够提供相当于 GSM 手机的语音质量！

很多人知道 iLBC，都是通过 Skype 这个即时通信软件。正是这种语音编码的巨大优势，使 Skype 获得了快速发展！

5. G.726

ITU-T 的 G.726 语音压缩编码，学名“自适应差分脉冲编码调制（ADPCM，Adaptive Differential Pulse Code Modulation）”。

ADPCM 是针对 16 位（或 8 位或者更高）声音波形数据的一种有损压缩算法，它将声音流中每次抽样的 16 位数据以 4 位存储，压缩比 1∶4。压缩/解压缩算法非常简单，是一种低空间消耗、高质量、高效率声音获得的好途径。保存声音的数据文件后缀名为.aud 的，大多是用 ADPCM 压缩的。

6. 其他语音压缩编码

此外，还有 G.722 编码、GSM 编码等，这里就不一一介绍了。

7. VoIP 各种编码所需 IP 带宽计算方法

PCM 的语音采用 64kbit/s 的带宽，这个值非常恒定。但一路 VoIP 语音的带宽，就没这么简单了。除了语音压缩后本身需要的带宽，还有大量的 IP 网络的开销也需要算进去。为了弄清楚每路语音到底占用多大带宽，老杨用下列公式来计算：

带宽 = 包长度 × 每秒包数 = 包长度 × (1/打包周期)

=(Ethernet 头 + IP 头 + UDP 头 + RTP 头 + 有效载荷)×(1/打包周期)

=(208bit + 160bit + 64bit + 96bit + 有效载荷)×(1/打包周期)

=(528bit +(打包周期(秒)× 每秒的比特数))×(1/打包周期)

=(528/打包周期)+ 每秒比特数

按照上面的计算公式：

G711：20ms 打包，带宽为(528/20 + 64)kbit/s = 90.4kbit/s，比 64kbit/s 高 50%！

G729：20ms 打包，带宽为(528/20 + 8)kbit/s = 34.4kbit/s，约为 64kbit/s 的一半。

G723：5.3kbit/s，30ms 打包（因为压缩量稍微大一些），带宽为（528/30 + 5.3）kbit/s = 22.9kbit/s，约为 64kbit/s 的 1/3。

如果是中继接口，还需要考虑信令占据一定的带宽，可以按照 2.5%来计算。



IMS——移动网中的软交换

承载与控制分离，业务与呼叫分离，这并不是固网的专利。在移动网中，需求同样存在。只是在移动网中，不称为软交换，而叫做“IP 多媒体子系统”，简称 IMS。之所以被称为“子系统”，是从整个移动通信网的总体来讲，IMS 只是其中的一个 IP 多媒体子网，是为移动通信这一大网服务的。传统的移动网络和 PSTN 都是“大一统”架构，由交换机和智能网配合，提供增值业务。PSTN 已经有了软交换技术解决业务发展的问题。而移动网相对应的是 IMS，因此可以把它理解为移动网中的软交换。但是深入研究时，你会发现 IMS 和软交换并不能做简单的类比。要对这两者做区分，还要从 PSTN 和移动网的区别说起。

移动网的终端是可以移动的，而移动性总是和“漫游”、“注册”、“安全”等关键词紧密



联系。IMS 既然作为移动网的“多媒体”“子网”，就需要考虑移动性带来的新的变化。

由于 IMS 出现得比软交换要晚一些，因此业界的讨论更加充分，规划也更加合理和理性。论据之一就是全部采用 SIP 作为呼叫控制和业务控制的信令，而不像软交换那样多协议并存。从定义上看，IMS 是一个“子系统”，它定义的是一个网络架构。如果整个移动网络是一部汽车，那么 IMS 将成为其增值业务的“发动机”，是移动数据业务的触发器！在 3G 乃至 4G 网络技术探讨中，在解决了移动宽带交换和接入的同时，都不可避免地引入 IMS。

从 IMS 的技术机理上说，如图 18-7 所示，它对控制层功能作了进一步分解，实现了会话控制和承载控制在功能上的分离，使网络架构更为开放、灵活，有专家形象地说，IMS 实际上比传统软交换更“软”。

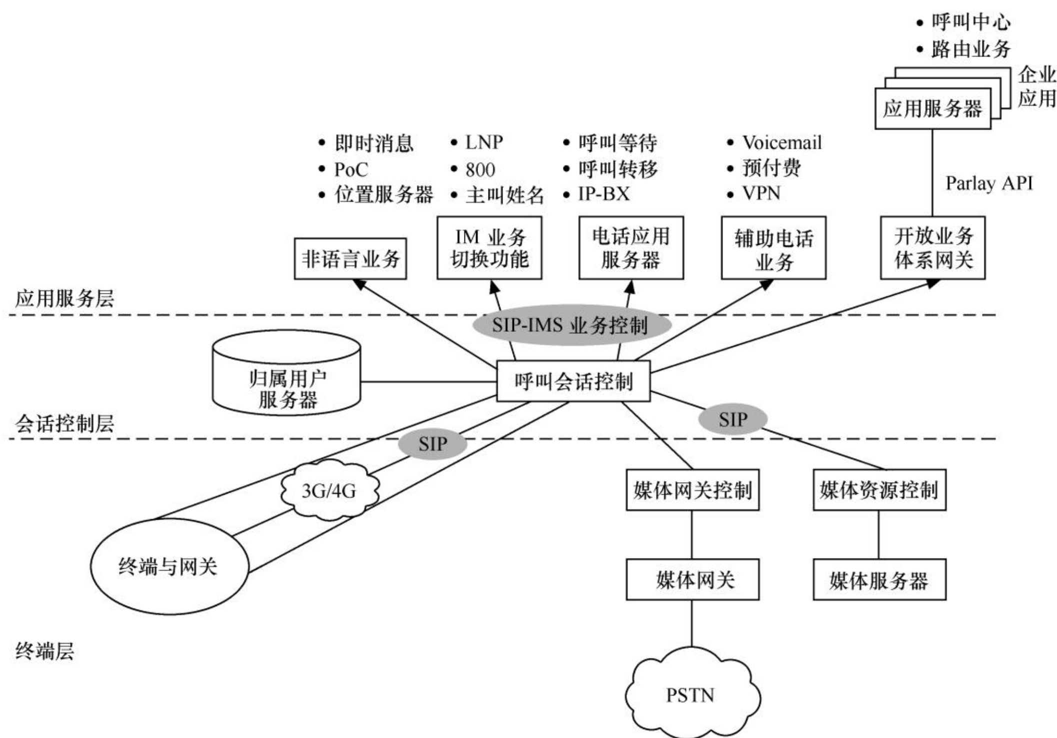


图 18-7 IMS 系统结构和业务体系

和每个人的感受大抵相同，哪里最安全？在家最安全。而经常处于移动状态的终端，其安全性势必受到影响。在这方面，IMS 可谓考虑周全。IMS 的安全性是通过鉴权认证、接入安全建立、信令加密、承载和业务流的安全控制、划分安全域等方式来保证的，尤其是在漫游控制方面，IMS 是做了大量“功课”的。

IMS 是不是只能支持移动的终端呢？其实不尽然。IMS 与软交换一样，采用业务、控制、承载完全分离的水平架构，业务与接入是无关的。移动终端能接入，固定终端、Wi-Fi、LAN、

xDSL 自然更是没有问题。那 IMS 就成了移动—固网融合（FMC）演进的技术支撑和基础。

无论从哪个角度讲，IMS 都将成为未来移动网络的业务核心部件。随着 IMS 技术和产品的逐渐成熟，国内国内已经有部分运营商开始了 IMS 的商用。目前 IMS 网络提供的典型业务包括 PoC、IM、聊天（Chat）、呈现业务（Presence）、群组、多媒体会议等。

对于人来说，思路决定出路；而对于技术来说，特性决定前途。IMS 的分离特性以及面向移动网设计的特点，使其成为名副其实的移动网增值业务"发动机"。可以想象，我们未来普遍使用的移动网增值业务，都将架构在 IMS 体系之上。



业务新目标——滚滚长江东逝水，统一通信成主流

当思科公司（CISCO System）打着"统一通信"的大旗，提出了通信向企业信息化靠拢后，UC（Uniform Communication，统一通信）的概念就不断推陈出新，越来越多的厂家宣布支持 UC 并提供 UC 的解决方案。

什么是 UC？若干年来，人们一直延用这种方式——用计算机查看电子邮件，用电话进行语音沟通，用传真机收发传真——不同的系统分别管理不同类型的通信方式，并使用不同的工具来进行访问。通信是人类与生俱来的要求，而我们已经进入信息化社会，有没有可能改变以上繁琐的通信方式，让信息交流变得更加简单？这个问题的提出，是 UC 诞生的原动力。

设想一下：无论任何时间，无论任何地点，使用无论任何设备，都可以毫无限制地进行交流，而且将语音、电子邮件、手机短信、多媒体内容、传真以及数据等形式的内容都集合到一起，可以用手边的任何一款设备发送和获取信息。

而以上的设想也正是各大 IT 巨头在思考的问题，业内所讲的"统一通信"或者"融合通信"都是指以上的设想。但有关统一通信的概念，目前并没有统一的标准，而是存在多种版本，不同厂商给出了各自的定义。

企业客户多种通信手段不能统一使用，相互之间缺乏必要的管理和调用接口、几张网络并存，对人力、物力和财力资源浪费严重，并且使用不够方便、快捷。统一通信就解决其中的管理接口、数据传送、业务组合等深层次的统一问题。

在当前，统一通信处于通信界热议的状态。它缺乏国际标准，却不缺乏个性创意；鲜有具体部署的成功案例，却不缺乏可实施的解决方案；缺乏全面统一，却不缺乏局部融合；缺乏实践经验，却不缺乏想象空间。

UC 是一个概念、一个理想，并不是一种特定的技术体制。IP 设备制造商、服务器制造商、电信运营商、增值服务提供商、软件供应商都提出了各自 UC 的理解，并且这种理解都是站在各自历史上的优势产品和解决方案角度，距离真正意义上的"统一"或者"融合"仍然非常遥远！UC 是风景秀丽的山顶，而各个厂家是从不同的线路去攀登，有的线路"山穷水尽疑无路"，有的线路却"柳暗花明又一村"。但可以肯定的是，统一通信必须通过多个制造商、增值服务提供商、运营商、集成商等链条的串联和结合，才能真正实现通信与信息的完美统一。任何一个设备制造商想制造放之四海皆准的 UC 产品，无异于痴人说梦！



在行业和企业的应用中，统一通信扮演着将企业的办公自动化、客户管理、物流管理、数据通信、传真、邮件、视频系统、呼叫中心、一号通等功能融合为一体的角色，真正实现将企业的业务流程和管理流程与现有通信技术无缝连接，从而提高企业工作效率，降低因信息不畅带来的成本。

在个人通信领域，统一通信让使用通信工具的人更便捷地利用这些工具，并通过个人 Portal 等形式，让通信工具更加灵活地为人服务。



IP-PBX——欲穷千里目，更上一层楼

传统的电路交换的语音交换机——PBX 发展了几十年，但是已经很难适应新的客户需求。以 TCP/IP 技术为核心的互联网的高速发展，催生了大量业务。而传统的以 TDM 为核心的 PBX 很难满足新时代的需求。

从业务类型上说，PBX 只是满足企业拨打电话、分机互拨等需求，对诸如语音邮箱、录音、与 CRM 结合等需求，虽然能够通过一些专门的手段实现，但是实现复杂、稳定性差、可管理性差，这些将成为企业未来统一通信、业务融合的瓶颈。

IP 的开放性和通用性给 PBX 的演进带来了新的思路。以 IP 交换为核心的 IP-PBX，不但能够完成传统语音交换功能，实现所有传统 PBX 支持的业务，如呼叫转移、DID、会议、叫醒、共振、轮振等，还可以实现语音邮箱、按需录音、与 CRM 等结合、IP 旁路、定制彩铃、远程分机等。最为重要的一点，在 IP-PBX 上开发新业务，速度快，效率高，通过与 NGN 的结合实现业务推送，可以实现更为丰富的增值业务，甚至可以和其他通信手段，如短信、Web、移动电话等相结合，满足企业的个性化通信需求。



全球范围内最流行的通信开源软件 Asterisk，为 IP-PBX 的快速发展提供了重要的来源。据不完全统计，目前全世界有几千个商家基于 Asterisk 开发自己的 IP-PBX 产品。在这里要介绍一下 Asterisk。1999 年，一个美国人马克·斯宾塞开发出了最原始的一个软件 PBX，他给这个软件起了个名字，叫做“星号”，即 Asterisk。这个名字很有趣，在 Linux 中，星号是“通配符”，在电话上也有“*”键，他起这个名字就是为了表达“什么都能做”的意思。斯宾塞在 1999 年创办了一个做 Linux 技术支持的公司，该公司处于美国激烈竞争的 IT 环境中生存压力很大，出于对成本的考虑，他没有购买 PBX，而是自己编了一个小程序来实现 PBX，插上买来的语音板卡，这个系统运行起来，就可以接听客户的来电，或者拨打客户的电话了。他把这个软件放到了自己的网站上供别人下载使用。但是令人吃惊的事情发生了——越来越多的人开始向他咨询有关这个软件的事，而 Linux 咨询的生意却越来越差。这就是商机！斯宾塞真非等闲之辈！他用行动证明了自己超人的洞察力。他成立了一个公司 Digium，专门提供 Asterisk 技术支持，并开始制作和销售配套的板卡。由于 Asterisk 是开源软件，越来越多的编程爱好者和通信爱好者加入其中继续开发，经过不懈努力，打了 10 万个以上的“补丁”，才让 Asterisk 具有今天的魅力。

中国国内也有一些非官方的爱好者组织，很多企业都基于 Asterisk 开发自己的语音类产品，但是由于技术方面与国际最尖端差距较大，客观地说，仍处于模仿阶段！



从 Asterisk 中，老杨做如下总结。

- 古人曾经“云”过，“有心栽花花不发，无心插柳柳成荫”，如果发现柳树成荫，就别再去栽花了，人要学会放弃而不是一味盲目地坚持。
- 在通信领域，你永远要保持足够的敏感性，任何不起眼的细节都可能是终生难得的机遇。
- Asterisk 的成功，是“蓝海战略”的又一典型案例；在大家都去做 Linux 咨询的时候，其实已经处于“红海”的竞争中，而斯宾塞就找到了 Asterisk 这片蔚蓝的大海。

让我们回到 IP-PBX 本身。IP-PBX 从应用场景角度，可以分为托管式（hosted）和企业自建式两种。这就好比在 PSTN 中，电信运营商的 Centrex（如“汇线通”）业务，就相当于“托管式”的 PBX，当然，在 PSTN 时代，大部分都是企业自己拥有自己的 PBX（自建式）。从实现机理角度，有人把 IP-PBX 分为混合型、融合型、纯 IP 型。

未来究竟哪种 IP-PBX 将成为主流，老杨不敢妄下结论，但是从目前的现实市场来看，托管型和企业自建型 IP-PBX 会在相当长的时间内并存。大量数据显示，企业网选用语音交换机大部分已经是 IP-PBX，其实这里所指的是广泛意义上的 IP-PBX，以 IP 为核心的 IP-PBX 目前所占市场份额还很低。

其实，讨论 IP-PBX 的功能，并不具有建设性意义。IP 通信发展起来以后，任何对某类产品名称的定义、功能的定义都变得很难，原因是各种技术互相融合，都在 IP 这个平台上实现，很难用传统的观念来评价某个产品。比如传统交换机强调交换机的“门数”，这在 IP-PBX 上变得很难描述。对于没有口线的 IP-PBX，其 SIP 注册数是否能计入“门数”？看待新的产品形式，既不能坐井观天，更不能刻舟求剑，如有疑义，请参考《自然辩证法》。

上述的例子告诉读者，IP 技术给我们带来的变化是深刻的，你很难用传统的通信概念来理解今天的基于 IP 技术的产品。今天我们流行“与时俱进”，而古人的话则更为简练而深刻：欲穷千里目，更上一层楼！

正是站在“统一通信”的高度，你才会发现 IP-PBX 在未来企业通信中是极其重要的环节。它将是企业信息流、数据流利用通信网络进行交互和共享的主要工具，是未来电信运营商为企业信息化提供服务的桥梁和纽带，是未来各类电信业务在企业中获得应用的舞台和平台！



分布式呼叫中心——化整为零新理念

有了 VoIP 和 IP-PBX，我们就不难理解分布式呼叫中心。在无坚不摧的 IP 技术冲击



之下，呼叫中心正在经历着急剧的转变。第一种转变就是对呼叫中心所服务的市场的重新定义；在过去大多数时间内，呼叫中心一直为大公司提供服务，是“富人俱乐部”里的奢侈品。一旦呼叫中心引入 IP 技术，将中小企业拉进呼叫中心使用者阵营里，就不是一件很难的事了。

而第二种转变则是 IP 通信很容易解决异地通信问题，因此可以将坐席分布在全世界的各个角落，由统一的机构管理——这就是分布式呼叫中心。很多人把分布式呼叫中心简称为 IPCC，意即“IP-enabled Call Center”。

呼叫中心成为分布式架构有很大的社会意义。我们知道，呼叫中心就是提升企业形象、提高客服和销售效率的工具，而采用分布式架构，可以利用全球经济发展不平衡的状况，在经济欠发达地区建设呼叫中心并雇佣坐席员，他们待遇相对较低，经过充分培训即可上岗。

分布式呼叫中心的坐席可以根据需要在多个城市、多个国家或地区建设。每个坐席员可以根据用户的姓名、地址、电话号码、电子邮件地址、产品采购历史、服务历史、客户的地理位置或者语言偏好，采用统一消息技术统一存储到唯一的账号识别符下面，使呼叫中心管理者和坐席员都能够非常高效地管理包含在这些消息内部的信息。这种模式有能力创造统一应用集合，给呼叫模式带来巨大的灵活性。IPCC 更像是一台压路机，它让这个世界更加扁平化！



ICT——CT 与 IT 渐行渐近

信息与通信技术（ICT，Information and Communications Technology）不同于传统通信概念，它始终围绕通信如何为信息服务、信息如何利用通信渠道这一课题展开研究。

为了更好地理解 ICT 技术，有必要对信息技术（IT，Information Technology）和通信技术（CT，Communication Technology）的历史和现状做一个分析。

IT 技术是随着计算机的广泛应用发展起来的。IT 技术涵盖了计算机信息的存储、运算、读写、识别、鉴权、压缩、查询、检索等环节的处理工作，也就是说，如何利用计算机的 CPU 来生成、管理、分析和使用大量数据。

CT 技术是电话、传真、数据、互联网等技术的统称。CT 技术解决信息的传送问题。也就是说，根据信息的属性不同，采用合理的手段交换信息。

在过去，IT 技术和 CT 技术的结合是非常有限的。呼叫中心中的数据库营销，就是将海量的客户信息均匀分配给每个坐席员，由经过培训的坐席员给客户拨打电话，介绍产品，获取的信息填入相应表格，并把录音存储到指定地址空间，对于确认采购的客户还要转给商务人员专门处理。这个过程，是 ICT 技术的典型应用。而现状是，这类的集成还不成熟，除了呼叫中心外，目前能够找到的 ICT 结合的经典案例还不多。

IT 与 CT 渐行渐近，如图 18-8 所示。它们的结合，是在行业融合逐渐深入和信息社会强烈诉求两大背景下产生的。ICT 作为“信息与通信技术”的全面表述，更能准确地反映支撑信息社会发展的通信方式，同时也反映了电信在信息时代自身职能和使命的演进。

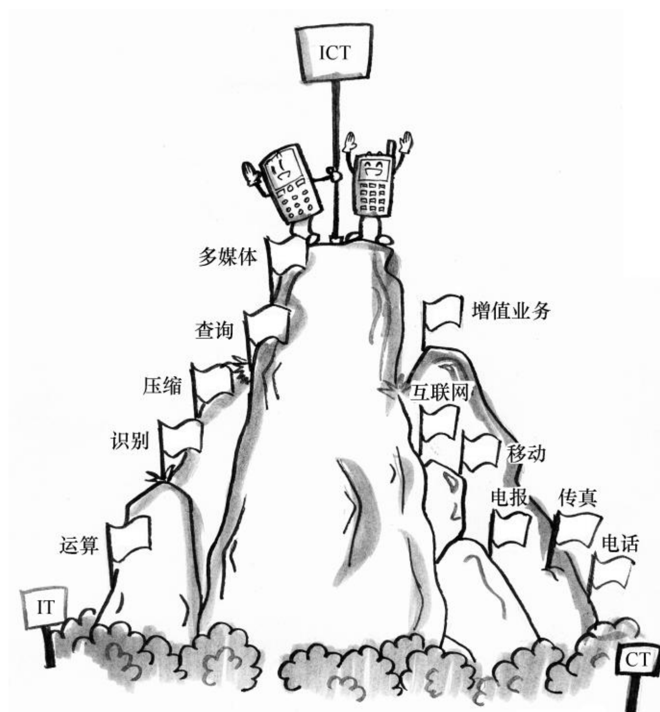


图 18-8　ICT——IT 与 CT 融合

目前在我国，大量 ICT 应用还停留在基础的信息化建设层面，系统集成、外包、安全、网上办公、信息发布、服务器托管、视频会议和监控等各自独立，自成体系，而随着新的 IT 技术（诸如 RFID、语音识别、专家系统、多媒体等）在更广泛的范围内应用，以及新的 CT 技术（诸如 IMS、NGN、互联网、3G）的大规模商用，ICT 的业务会更加丰富多彩！

第19章 Chapter 19



通信网常见设施

通信网在哪里？天上架（架空光缆、电缆）、地上埋（光纤等）、水里淹（海底光缆）、空中传（无线、移动），当然，最主要设备都“存放”在通信机房里。

在本章，老杨将给各位读者介绍通信网的常见设施和相关配套，比如电信机房里我们常见的监控、空调、DDF/ODF、线缆、电源、电池等。再领先的科技、再先进的设备，都需要这些设施作为配套。就像我们生活的城市，当白领和精英们坐在宽敞明亮的写字楼里办公，千万别忘了那些为这座城市的综合环境贡献力量却默默无闻的服务系统——比如环卫。



机房与装修

通信机房是电信运营商、增值服务提供商放置通信设备的物理空间，当然也包括行业企业用于放置通信设备的中心机房（如军队、公安、电力、石油石化、煤炭等行业单位和相当一部分大中型企业都系统有自己的通信网，也有自己的通信机房）。通信机房是人类通信所有构想和梦想的主要载体。一般来说，通信机房对环境都是有严格要求的。

“通信设备一枝花，全靠机房来当家。”没见过通信机房，很难真正地了解通信行业。让我们到通信机房里去看看。

通信机房的规模根据每个机房实际放置的设备体积、规模而定。对于电信公司各个主要分支机构（如国内的各省电信公司的省会城市和一级城市）的主干网机房，由于涉及全省范围甚至几个省范围的核心交换和路由，规模都很大，有的要占据几层楼，数万平方米；而有的机房，如移动基站控制器所在的机房，可能在某个住宅楼顶端，规模一般很小，只有几平方米。

电信机房在一栋智能大厦的中间位置最为合适，因为面积以及线路的扩展性最好。正规的机房应该具备结构化布线系统、机房闭路电视安全监控系统、优质的防雷电系统以及防火烟感应报警系统。我国的通信业起步较晚，有些已经几十年历史的老房子还在充当机房，如果这些老房子没有经过认真改造，会存在一定的安全隐患。

电信机房设备密度较高，对建筑物的承重能力要求也比较高，最好能达到1 000kg/㎡——什么概念呢？相当于10个100kg的大胖子站在1平方米的正方形地面上，所形成的压强。

机房内一般采用防静电地板，机房的四壁都有墙内防电磁干扰措施。机房空调采用大功

率、下送风空调，具有恒温、恒湿、送风装置。很多标准的电信机房都采用先进的门禁系统、计算机控制的电子感应锁，能自动识别客户身份并记录客户进入时间等详细资料，针对进入机房内的不同空间，还可以设置不同等级的门卡。

电信机房放置了各种机架。标准的电信级机架，高度以 2 000mm 居多，宽 482mm，深度根据具体设备而定，这被称为“19 英寸标准机架”。19 英寸是指机架的宽度——482mm 相当于 19 英寸。而高度一般采用 U 来表示，每个 U 为 4.4cm 左右，42 个 U 就是 2 000mm。“刀片式服务器”都是标准的 1U 高，大部分电信设备也都是标准的几个 U 高度。为了减轻自身重量，机架一般采用轻型钢制成。机架需要全部固定在楼板中，可以抵抗至少 8 级地震（对这个数字，经历过 2008 年的中国人，我想都不会陌生，也更容易理解为什么标准要这么制定）。每台机架最好都具备独立风扇，正规的机房还应该采用双路 UPS 电源直接向机柜供电。为了适应用户需求的增长，除了提供足够的电力供应外，还应留出足够的电源插座。

核心设备要考虑数据的灾难备份，一般把互为备份的两套系统安装在分布于异地的两个机房内，相互之间通过光纤环路连接。



机房监控

机房监控属于工业自动化范畴，是指对机房的温度、湿度、电源动力装置、电机、消防、门禁等机房环境和设施进行监测和报告的系统的总称。机房监控一般情况下可监测的对象有：配电系统、UPS、发电机、空调、温湿度、漏水监测、漏油监测、消防系统、门禁以及其他防盗设备（如人体探头、玻璃破碎器及其他防盗传感器等）。

通过对机房动力及环境的集中监控，可以实现对机房遥测、遥信、遥控、遥调的管理功能，为机房高效的管理和安全运营提供保证。

机房监控的类型很多，一些先进的无人值守机房，可以说已经“武装到牙齿”了。比如在机房监控系统中检测到某个值超过阀值，可以通过短信、电子邮件等形式上报给管理员，管理员也可以通过 Web 方式来查看机房的环境和设备参数，甚至可以在特定情况下抓拍出现问题的点并上传到服务器供管理员下载查看。



电信设备

电信设备要长时间不间断运行，因此散热、通风都是产品设计的要点。电信设备在机架上安装或者自带机架。作为一名工程师，要将一台设备安装在电信机房里，必须研究这台设备的尺寸、安装方法、供电要求、温度和湿度范围、线缆连接规则、风扇位置和通风方式等，千万不要搬到机房找个柜子就塞进去。如果安装没有符合科学要求，会在以后的维护中深受其害！

电信设备有自身的寿命，一般来说，运营商是按照 5～8 年左右的时间做折旧摊销的，因此电信设备的标称值也在 8 年左右，但是实际上使用年限可能会超过这个数值。





工控机和服务器

工控机是一种特殊的 PC 服务器，一般是存放重要数据或用作设备管理的，在通信机房里和其他通信设备一样，保持 24 小时开机状态。工控机运行着各种操作系统，如 Windows、Linux、UNIX、Solaris 或者其他，并在此基础上运行各种应用软件，如管理、监控、计费、数据库、查询、搜索、备份等应用系统。



线缆

设备之间的连接都采用线缆。在洲际、省份、城市之间一般采用光缆或海底光缆。在城市内部，程控交换机通过多种方式连接用户的电话机或企业的电话交换机，如大对数电缆、光纤等。

而在机房内，设备连接采用的种类更丰富。比较常用的线缆有：电话双绞线、以太网双绞线、光纤跳线（尾纤）、V.35 线缆、同轴电缆等（如图 19-1 所示）。



图 19-1　多种物理线缆和接头



常见物理接口和接头

编码格式决定了线路采用的电缆或者光缆的类型，而电缆或者光缆的类型又决定了设备和线缆连接处的接口和接头类型。下面介绍几种常见的物理接口和接头。

1. RJ11

RJ11 接口和 RJ45 接口有几分神似，其接头部分都叫做“水晶头”，透明而结实。RJ11 只有 4 根针脚（RJ45 为 8 根）。在电话系统中，电话机的接口就是 RJ11 插孔，与之配套的电话线的末端是 RJ11 的水晶头。在计算机系统中，RJ11 主要用来联接 Modem 调试解调器。

在通用综合布线标准里，没有单独提及 RJ11，所有的连接器件必须是 8 针。RJ11 和 RJ45 的协同工作和兼容性还没有成文。

RJ 这个名称代表已注册的插孔（Registered Jack），来源于贝尔系统的通用服务分类代码（USOC，Universal Service Ordering Codes）代码。USOC 是一系列已注册的插孔及其接线方式，用于将用户的设备连接到公共网络。FCC（联邦通信委员会）代表美国政府发布了一个文档，规定了 RJ11 的物理和电气特性。

2. RJ45

RJ45 是一个常用名称，指的是由 IEC（60）603-7 标准化，使用由国际性的接插件标准定义的 8 个位置（8 针）的模块化插孔或者插头。IEC（60）603-7 也是 ISO/IEC 11801 国际通用

综合布线标准的连接硬件的参考标准。

因此，使用 6 针或者 4 针接插件（比如 RJ11）从此不被通用解决方案支持。为了使超五类双绞线达到性能指标和统一接线规范，国际上又制定了两种国际标准线序，常用的一种叫 T568B，其线序为：白橙，橙，白绿，蓝，白蓝，绿，白棕，棕。

网络工程师在制作网线的时候，常常需要考虑水晶头与网线如何连接的问题。

双绞线中 4/5、7/8 这 4 根线没有定义。而具体施工时，往往不注意就接成了 1、2、3、4。10Mbit/s 网络相对而言带宽窄，连通性好，故连接成 1、2、3、4 也没有什么问题。但是 100Mbit/s 的高带宽，再连成 1、2、3、4 就不能很好地工作了。要命的是，该故障的表现方式不尽相同：有的计算机在进行连接后，网卡和 HUB 或交换机上的指示灯均正常点亮；有的计算机却是网卡上的指示灯正常亮，而 HUB 或交换机端的指示灯闪烁，从而增加了排错的难度。所以双绞线制作过程中一定要高度重视线序问题。

3. V.35

V.35 是通用终端接口的规范，其实 V.35 是对 60～108kHz 群带宽线路进行 48kbit/s 同步数据传输的调制解调器的规定，其中一部分内容记述了终端接口的相关规范。

V.35 对机械特性即对连接器的形状并未作出规定。因此我们应该经常能够在低端路由器、Modem、MUX 上见到各种形状的 V.35 接口。

路由器中的 V.35 接口，一般采用 DB34 或者 DB25 的接口类型，用来传送同步的 $N\times$64kbit/s 数据。

4. RJ48

RJ48 是 E1/T1 接口的连接器标准，和 RJ45 接头外观极其相似，但正规的 RJ48 接口在第八线侧的外壁有一个小突起与 RJ45 区分（但目前基本都混合使用，电子市场购买的 8 芯水晶头，采用不同线序，就成了不同的接口类型，RJ48 或者 RJ45）。

RJ-48 通常指 RJ-48C，用于 E1/T1/语音接口，用 1/2/4/5 针。

5. BNC

BNC 接头，是一种用于同轴电缆的连接器，全称是 Bayonet Nut Connector（刺刀螺母连接器，这个名称形象地描述了这种接头的外形），又称为 British Naval Connector（英国海军连接器，可能是英国海军最早使用这种接头）或 Bayonet Neill Conselman（Neill Conselman 刺刀，这种接头是一个名叫 Neill Conselman 的人发明的）。

因为同轴电缆是一种屏蔽电缆，有传送距离长、信号稳定的优点，因此 BNC 接头被大量用于通信系统中，如网络设备中的 E1 接口就可以用两根 BNC 接头的同轴电缆来连接，在高档的监视器、音响设备中，BNC 接头也经常用来传送音频、视频信号。

实际应用中的 BNC 接口种类极多，据不完全统计有 200 多种，形状各异，制作方法也不尽相同。到 baidu 去搜索一下“BNC 接头”的图片，你会看到各种奇怪的 BNC 接头形状。

6. 光纤接口

光纤接头和光纤跳线头是紧密连接的，一般为公头，而光纤接口一般为母头。



7. AV 接口

AV 接口是声音和视频的混合端口，A 即 Audio（声音），V 即 Video（视频），通常都是成对的白色音频接口和黄色的视频接口，它通常采用 RCA 进行连接，使用时只需要将带莲花头的标准 AV 线缆与相应接口连接起来即可。在许多音箱、DVD 机上你会看到这样的接口。

8. S 端子

S 端子也是我们常见的接口，其全称是 Separate Video。S-Video 连接规格是由日本人开发的一种规格，它将亮度和色度分离输出，避免了混合视讯信号输出时亮度和色度的相互干扰。S 端子实际上是一种五芯接口，由两路视亮度信号、两路视频色度信号和一路公共屏蔽地线共 5 条芯线组成。在电视机、DVD 机上能看到 S 端子。



DDF、ODF 与 MDF

数字配线架（DDF，Digital Distribution Frame）用于电缆的转接。不同的 DDF 架会有不同的接头类型，比如电话线、BNC 或 RJ48。两台电信设备之间 E1 的连接，一般都不是用线缆直接将两个接口连接起来，而是把设备的接口都通过线缆连接到 DDF 架上，在 DDF 架上用“跳线”将所需连接的端口“对接”起来。

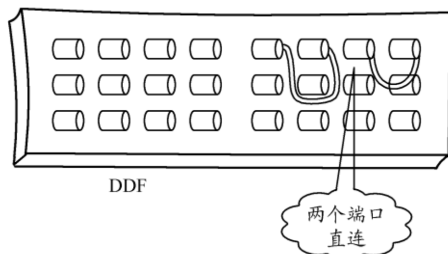


图 19-2　DDF 示意图

光配线架（ODF，Optical Distribution Frame）用于光纤的转接。ODF 的接头有单模和多模之分。同比于 DDF，所有带有光接口的设备，其光接口之间一般也不是直接连接起来的，而是先都连接到 ODF 架上，在 ODF 架上用“跳线”将所需连接的端口“对接”起来。

这样做看似复杂且浪费，但方便查询和维护，便于调换电路，并且容易明确责任。对于两台设备分属不同厂家的情况，每台设备的端口都连接到 DDF 或 ODF 上，会避免其中一家设备厂商的调试人员因为线缆的连接而牵扯另外一个厂家的设备，避免不必要的纠纷。

MDF 是“总配线架”（Man Distribution Frame），适用于大容量电话交换设备的配套，用以接续内，外线路，还具有测试、保护局内设备和人身安全的作用。



空调

核心通信机房的空调一般都是大型专用空调，为了保证机房温度、湿度在合适的范围内，空调需要 7×24 小时长时间运行。对于大部分机房，空调都需要有严格的备份措施，如果一台发生故障，其他空调还能稳定工作，这样可保证工程维护人员有充足的时间修复发生故障的空调。



电源、电池与 UPS

通信机房的设备都需要供电，而供电采用的方式就是电源或者电池。电源是任何通信设



备的生命线，但谁也不能保证任何的供电是100%稳定的。为了让电信设备不会因电源问题受到影响，一般情况下，电信机房都采用三级电力保障：

- 引入电应采用两路不同局向的市电专线；
- 应采用二路四冲程柴油发电机（很多人简称其为“油机”）；
- 采用两台并机UPS（不间断电源），容量足够大，后备支持4小时以上。

有了这三级电力保证，就像中国跳水队派三名队员冲击一块金牌一样，不是要“十拿九稳”，而是要“十拿十稳”！

在市电不正常或停供的时候，UPS将发挥其作用，“该出手时才出手”，以保证重要设备的供电。UPS一般是在有市电的情况下进行充电储能，在市电断供的情况下释放电量。



老杨有话说——献给通信网中的“小草”们

“没有花香，没有树高，我是通信行业被人忽视的小草！”

的确，本章所介绍的通信网常见的一些设施，无论是机架还是空调，无论是电源还是线缆，都不是通信网的主体，它们不能交换、无法路由，更不懂什么是信令、什么是帧结构；但是没有它们，通信网就无法正常工作，这是不争的事实。

通信网真是一个受人宠让人疼的家伙：机房包容了它，线缆连接了它，接口点缀了它，空调舒适了它，机架托起了它，监控保护了它，电源点亮了它。然而这个娇贵的家伙，生在福中不知福啊！哪个环节有点问题，都可能对它造成影响，有些影响甚至是致命的！作为利用通信网为人类服务的通信人，你只有努力掌握它的性格和特点，才能更好地驾驭它并让它为你服务。初学者千万不要把通信网本身的技术捧为“花朵”而忽略了它周边的“小草”。

人们最容易忽略的，往往是弥足珍贵的。你忽略它们，它们很可能在未来的某个时候“报复”你。所以，一定要多花点时间去研究它们！

第20章 Chapter 20



通信产品开发基础

通信是一门应用科学，通信产品的形态多种多样，形成多个分支，相互间替代性很强，有些概念模糊而难以描述，有些概念则似是而非难以把握，这些状况造成通信产品的表述变得困难，加上通信产品最终是要进入社会生活和生产的应用流程，本就复杂的技术与本就复杂的现实世界密切结合，更让通信产品笼罩着一层神秘的光环。如果要我们将通信产品非常科学而严格地划分种类，一定要清楚出于什么样的目的。本章对通信产品开发的讲解，将根据其开发侧重点和所采用技术基础的不同，把它们分为非智能型产品和智能型产品。注意，本节只涉及通信网中所用产品，而不涉及芯片及其他元器件的开发。



智能性与产品开发

有些通信产品没有智能，它们一旦被制造出来就只可能有两种状态——可供使用和不可供使用，没有任何可供配置的参数，也不能参与智能活动，并且使用场合单一、机械。这类产品的典型代表诸如线缆、接头、机柜等，开发这些产品，更多的应该是材料、工艺等纯粹物理层面的设计。这些我们姑且定义一个名称——“非智能产品”。

有些产品具有一定智能，比如电源、普通的电话机等，其电气控制部分的开发是具有较高技术含量的。有的具有高度智能，比如交换机、路由器、手机、计费系统、SDH、智能话机、各种 PC 软件、高级测试仪表等，其产品开发的技术含量极高，往往代表了通信技术的最高水平，这类产品往往被冠以“高新技术”之名，其特点是高风险、高投入，如果产品开发成功，市场机遇到来，将会给通信设备制造商带来高回报和高收益率。当然，如果市场机遇不好，新技术体制的产品代替了这种产品，或者研发失败，那么带来的损失也是巨大的。这些都属于“智能产品”。

“智能产品”的智能程度不同，在开发的理念上也会有所区别，开发的侧重点也会有不同情况的差异。对于具有高度智能性的通信设备，如交换机、路由器、传输设备、部分简单测试仪表，属于嵌入式系统开发的范畴；而即时通信软件、网络管理和控制软件、运营支撑系统、CTI 中间件、高级测试仪表的开发，属于基于 PC 和服务器的开发。

下面，老杨主要针对具有高度智能的通信产品，描述与开发有关的基础概念。

嵌入式与非嵌入式系统

首先来了解什么是“嵌入式系统”。

传统意义上讲嵌入式系统传就是指非 PC 系统，有计算机功能但又不称为计算机的设备或器材。**比较专业的说法，嵌入式系统是以应用为中心、软硬件可裁减的、适应业务系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性严格要求的专用计算机系统**。也就是说，普通的 PC 或者服务器是通用软件平台，而嵌入式系统是“专用”的应用平台。何谓“专用”呢？一般的 PC，采用 Intel X86 系列或者同类型的 CPU，可以运行多种应用软件，如文字编辑软件、图形图像编辑软件、办公自动化软件、多媒体播放软件、游戏软件、网页浏览器等。而专用系统，就是专门为某一种或者几种需求而开发的，它功能单一，但是却非常有效。比如要播放多媒体，就是专业 CD、VCD、DVD 播放平台，我们常见的是 CD 机或者 DVD 机；要专业玩游戏，常见的有 SONY PS2、PSP 或者微软 XBox。而在通信领域，专业进行传输、交换、视频流处理、编解码、复用、路由等，都采用专用 CPU、专用主板和专用操作系统等。它们不是承载“通用”业务的平台，而是专门为特定应用设计的平台。当然，这里的“专用”并不是专门为某个产品定制一个操作系统或者 CPU，而是与 PC、服务器相对而言的。

当然，Intel 也将自己的若干款 CPU 称为嵌入式 CPU，可以在某个专用领域发挥其作用，也可以将产品供货期从原来的十多个月提高到若干年（普通 PC 的 CPU 供货周期在 18 个月，嵌入式系统供货周期要长很多）。应该说，时代在发展，概念也都在进步，我们站在发展的角度去看问题，是一件富有激情也充满压力的事情。

言归正传，嵌入式系统主要由嵌入式微处理器（CPU）、外围硬件设备（以上两部分总称为嵌入式系统硬件）、嵌入式操作系统（含“板级支持软件”——BSP）以及用户的应用程序 4 个部分组成，它是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”。

嵌入式系统开发包括硬件开发和软件开发两个部分；而非嵌入式系统因为使用现成的硬件（PC 或服务器），主要就是应用软件和一部分驱动（如特殊外设）的开发。这个区别导致设备供应商在开发通信系统中采用的方式方法、对开发人员的组织架构、素质要求完全不同，由此也造成如下现象：嵌入式系统开发者，即便不是硬件开发工程师，也需要具备一定的硬件方面的基础知识，因为嵌入式操作系统、应用软件等都会受硬件的影响，甚至一部分故障出现的时候，开发工程师需要首先判断这是由硬件引起，还是软件引起的。

那么，通信产品中，哪些做成了或者应该做成嵌入式系统？哪些做成了或者应该做成非嵌入式系统？一般情况下，需要特殊端口，或者特殊数量的端口，就需要做成嵌入式系统；比如需要一组 GE 口的，需要若干快速以太网接口的，一般 PC 或者服务器实现不了，专业的系统开发工程师会建议你做成嵌入式系统；网络层以及以下的设备大多做成嵌入式的，而应用层设备以非嵌入式居多；需要特别高性能的，尤其是数据处理性能、媒体处理性能，比如 IP 数据包转发、视频压缩和交换等，一般选择嵌入式开发；需要体积非常小、成本特别低的



（比如 ADSL Modem 等通信终端），也做成嵌入式设备（比一台 PC 成本低很多），但这也都不绝对。换个角度，在如今的通信世界中，程控交换机、信令设备、网关、Modem、路由器、以太网交换机、可视电话、传输系统、MCU、无线基站、手机……大多是嵌入式设备，而大部分流媒体服务器、软交换、计费系统、网管系统等，是基于 PC 或者服务器的非嵌入式系统。

以下我们分别对非嵌入式系统和嵌入式系统开发中最基础的内容进行介绍。



基于 PC 或者服务器的通信产品开发基础

大量的通信应用软件，是基于 PC 或者专用高性能服务器开发的，如电信支撑系统（BOSS）、网页服务器（WebServer）和网页浏览软件、软电话、IM 及其服务器端、应用服务器（如彩铃、彩信平台、短信网关）、软交换等。

我们采用的计算机绝大部分都是 Intel、AMD、SUN 等品牌的基于 PC 或者服务器的 CPU，采用 Windows、Linux、UNIX 或者 Solaris 这样的操作系统。Windows 和 Linux 都是我们较为熟悉的操作系统，因此这种形式的开发，距离我们较近，更容易理解。

一般采用的语言为 C、C++、Delphi 和 Java。如果要把其中任何一种语言讲清楚，那将是一套厚厚的书，这并不是本书的重点。老杨更希望向各位介绍这些语言的历史和基本原理，历史有助于读者对软件类的通信产品有更深入的认识，原理有助于读者触类旁通和举一反三。需要注意的是，在嵌入式操作系统中，也会出现 C、C++和 Java，它们在跨平台操作上都有上佳表现，尤其是 Java。老杨在此提醒读者，不要以为这几种语言只能基于 PC 或者服务器进行软件开发，它们的应用范围其实很大。

1. C 语言简介

C 语言的原型是 ALGOL 60 语言（也称为 A 语言）。1973 年，美国贝尔实验室的 D. M. Ritchie（如果有可能，老杨恳请各位记住这个人和这个人所在的公司）在 A 语言基础上设计出了一种新的语言，这就是大名鼎鼎的“C 语言”。20 世纪 80 年代，美国国家标准研究所（ANSI）为 C 语言制定了一套 ANSI 标准，成为现行的 C 语言标准。

C 语言简洁紧凑、灵活方便、运算符和数据结构丰富、采用结构化的语言、对语法限制不太严格、程序设计自由度大、允许直接访问物理地址，C 语言程序生成代码质量高、程序执行效率高、适用范围大、可移植性好，这使得 C 语言快速进入软件业主流社会。

C 语言也有其缺点，主要是表现在数据的封装性上；它的语法限制不太严格，对变量的类型约束比较宽松，这会影响程序的安全性；从应用的角度，C 语言比其他高级语言较难掌握；“指针”是 C 语言的一大特色，可以说 C 语言优于其他高级语言的一个重要原因就是因为它有指针操作可以直接进行靠近硬件的操作。有得必有失，C 的指针操作也给它带来了很多不安全的因素。

2. C++语言简介

C++语言是一种优秀的“面向对象”程序设计语言，它在 C 语言的基础上发展而来，但比 C 语言更容易为人们学习和掌握。C++以其独特的语言机制在计算机科学的各个领域中得到了广泛的应用。“面向对象”的设计思想是在原来“结构化”程序设计方法基础上的一个质



的飞跃，C++完美地体现了面向对象的各种特性。

C++程序设计语言是由来自贝尔实验室的另外一个人——Bjarne Stroustrup 设计和实现的（如果有可能，老杨再次恳请各位记住这个人和这个人所在的公司）。与 C 语言一样，C++的标准化工作由 ANSI 以及后来加入的 ISO 负责。1998 年 C++语言的国际标准被正式发布。

面向对象的编程（Object Oriented Programming，简称 OOP），是一种计算机的编程架构。OOP 的一条基本原则是，计算机程序由单个单元或对象组合而成。每个单元或对象，描述一个事物的基本特征和对外部可能输入信息的反应，这种“反应”的主要表现形式是处理数据和向其他对象发送信息。OOP 达到了软件工程的 3 个主要目标：重用性、灵活性和扩展性。

世界上任何事物被定义为某个类型后，就可以继承这个类型的所有规则或特征。比如我们定义动物中有“昆虫类”，昆虫类必须具备六条腿和有翅膀的特征，那么当我们要描述蝴蝶，只要从“昆虫类”继承所有特征后再加上蝴蝶特有的特征，就能够唯一标识“蝴蝶”这个种群；这样做的好处，是让人更容易理解和记忆某个种群，不需要在看到任何一个新的物种后从头开始描述它，从而节省了描述时间（这在编程中就是节省大量重复代码的编写时间）。面向对象的编程也是一样的道理，任何一个“对象”，如果能明确是从某个“类”中继承而来，有助于理解这个“对象”的特征，并可以对这个“对象”进行符合这些特征的操作。OOP 强调对象的“抽象”、“封装”、“继承”、“多态”，都是为了在编程过程中更加便捷地重用代码从而提高效率。我们讲程序设计是由“数据结构”+“算法”组成的。从宏观的角度讲，OOP 下的对象是以编程为中心的，是面向程序的对象。

一个有趣的现象是，C 语言和 C++语言的发明者和发展者，很多都是通信行业的人，“贝尔实验室”这个名词在它们的历史上被多次提起。要知道在若干年前，绝大部分人都认为通信和计算机分属两个毫不相干的行业，只是在少数情况下它们有共同的交集。

C++语言和 C 语言的区别，如果单纯从语法上讲，恐怕看不到新的东西。在大型的编程中，C++的魅力无可比拟。当你彻底理解了“面向对象”之后，才能真正理解 C++的现实意义。

3. Perl 简介

Perl 是在 1987 年被提出（各位注意，比 Linux 还要早 4 年），作者 Larry Wall 发布了 Perl 1.0 版。由于 C、awk、sed、Bourne Shell 没有一个广泛性的协调，UNIX 管理员常常为了一点点事情大费周折，Larry Wall 希望有一种技术兼容以上诸多语言的优点，因此 Perl 被创造了出来。

Perl 的一个真正跨时代的版本是 Perl5，诞生于 1994 年。Perl5 是一套全新的引擎，包括对引用、模块、对象、词法作用域的实现。Perl5 当前最新版是 5.8.x，作为 Linux 系统必备的软件随各种发行版被安装到全世界的服务器当中。

Perl 语言拥有自己的文化，这可能是因为 Larry Wall 本人也是一个语言学家，他设计 Perl 语言时使用了很多语言学的思维。相对 C、Pascal 这样的高级计算机语言，Perl 直接提供泛型变量、动态数组、哈希表，同时 Perl 借鉴了这些语言的优点，使程序员可以快速完成任务。也正是这些过于自由和灵活的语法，使得 Perl 获得了 write-only（只读语言）的荣誉。但其实 Perl 可以把代码写的更优雅！

如果要用一句话来概括 Perl 的优点，那就是“TMTOWTDI”：



There's More Than One Way To Do It.（不只一种方法来做这件事！）

在这里介绍 Perl 就不能不说 Perl 跟通信界著名的开源代码——Asterisk 的密切关系。由于 Perl 代码灵活，跟 Linux 环境接触紧密，几乎与 Asterisk 相关的开源通信项目都无法避免使用 Perl。

4. Java 简介

Java 与通信的关系不可谓不密切。让程序员像喝爪哇岛的咖啡一样编写程序，这就是 SUN Microsystems 公司提出 Java 的唯一理由。

Java 诞生于 1995 年，这是互联网高速发展的前夜。用 Java 实现的 HotJava 浏览器（支持 Java applet）显示了 Java 的巨大魅力：跨平台、动感的 Web、Internet 计算。从此，Java 被广泛接受并推动了 Web 的迅速发展。

Java 平台有两个组成部分：Java 虚拟机和 Java API。Java API 为 Java 应用提供了一个独立于操作系统的标准接口，利用这个接口，只要在任何操作系统和硬件平台上安装一个 Java 虚拟机，Java 应用程序就可运行了——这有点类似于街机版的电子游戏在计算机上运行，因为在这种情况下，计算机上也要安装一个虚拟机，这样，玩家就可以在自己的 PC 上玩街机版的电子游戏了。我们平时所使用的计算机，在 IE 里面都已经运行了 Java 平台。实际上，Java 平台目前已经嵌入了几乎所有的操作系统。从理论上说，Java 程序只编译一次，就可以在各种系统中运行。这是 Java 最吸引人之处。

Java 语言还有诸多优点，比如它是支持网络计算的 OOP 语言，支持多线程程序设计、网络通信和多媒体数据控制，语言语法简单，并提供了用于网络应用编程的类库。Java 的远程方法激活（RMI，Remote Method Invocation）机制也是开发分布式应用的重要手段。

另外，Java 语言的健壮性、安全性、体系结构中立性、高性能等特点，也是编程员津津乐道的。特别是 Java 企业 API 为企业计算及电子商务应用系统提供了有关技术和丰富的类库。JDBC、EJB、RMI、IDL、JNDI、JMAPI、JMS、JTS 等诸多工具以及值得关注的 JavaBeans（很多人将其称为“Java 豆”），让 Java 的世界丰富多彩。

5. 其他

所有未被列出的都是“其他”，包括 Delphi，包括各种数据库，它们都有可能成为通信系统开发过程中的必备工具。本书中不再一一介绍。



看了上面这么多的新奇名词，大家会问：这和通信有关系吗？有的！通信技术和计算机技术的高度融合，已经是不争的事实，通信产品和计算机产品，除了外观的不同外，其基本要素已经越来越趋于统一——操作系统、协议、API 等，未来更加智能的通信产品，无论是终端类还是系统类，都不可避免采用与计算机的架构类似或者相同的硬件体系架构，也不可避免应用与计算机的软件架构类似的软件体系架构。无论硬件还是软件，都正在向同一个方向演进——智能性。计算机和通信产品的智能，都是由程序软件控制的，而如何更加方便、快捷地对控制软件进行编写，更加有效地控制每个通信的逻辑部件，则是 C、C++、Java 这类编程语言的事了。



嵌入式系统的开发

1. 嵌入式系统的开发步骤

概括而言，嵌入式系统产品开发的大致步骤如下：

- 硬件主板研制，包括设计（布板）、调试、测试等；
- 操作系统的选定，BSP 编程；
- 上层应用程序的开发。

以下分别介绍。

2. 嵌入式系统硬件方方面面

我们可以将嵌入式系统硬件简单理解为"基于 RISC CPU 的专用业务数据处理的计算机系统"，与通用计算机——PC 系统——相对应，是一类为实现一组特定的功能而设计和优化的计算机系统，其硬件一般由两个主要部分组成：

- 嵌入式 CPU 模块，相当于通用计算机的主机部分，随着 CPU 能力的逐渐强大，它所负责的工作也越来越多；
- 更加专用的业务数据处理模块，相当于通用计算机的外设部分，这部分协助 CPU 处理一些专用功能，如 DSP、接口处理等。

对于复杂的系统，可能存在以上结构的嵌套。

嵌入式 CPU 模块，主要芯片就是若干 CPU，加上内存（各种 RAM）、非易失内存（ROM）等，主要功能是完成系统加载、运行应用软件等。嵌入式设备一般不会去选用价格昂贵的通用 CPU，而是采用具有特定控制功能的专用嵌入式 CPU，它被称为采用精简指令集（RISC[1]）的 CPU。

业务数据处理模块对于不同通信产品可能有很大的差异，可以进行特定业务的实现，比如信令处理、媒体压缩和解压缩等，一般都由 ASIC 芯片、DSP、NP、FPGA 等组成，高智能通信产品的业务数据处理模块中一般也带 CPU。

（1）根据复杂度对 CPU 分类——RISC 和 CISC CPU

RISC 是轻装上阵的 CPU，不是通才，而是专才。怎么理解 RISC 呢？为了适应各种应用，通用 CPU 往往要考虑多种需求，因此其中的指令集变得极为复杂。但是如果希望某种 CPU 只处理某种或者某几种需求，我们并不需要这颗 CPU 过于复杂，那么 CPU 设计者就可以剔除通用 CPU 中大量的指令集，这种 CPU 就被称为 RISC。RISC 和 CISC[2]相对应。普通 PC 的 CPU 就属于 CISC。

CISC CPU 指令集丰富，但一条指令的执行需要若干机器周期才能完成，由此造成的特点是，CPU 结构复杂，但完成复杂功能时，只需要少数的软件代码。

RISC CPU 指令集小，指令本身也简单，但指令执行快，所以我们不难推理出 RISC CPU

---

[1] RISC 的英文全称是 Reduced Instruction Set Computer，即精简指令集计算机。

[2] CISC 的英文全称是 Complexed Instruction Set Computer，即复杂指令集计算机。



结构相对简单，但完成复杂功能时，代码量大（因此需要高效的编译系统）。

CISC CPU 构成的通用计算机功能强大，尤其是对于复杂计算、图形、图像处理等操作。但对于通信类设备，CISC 很多优势难以发挥。

目前绝大多数嵌入式系统使用 RISC CPU，主要原因是 RISC CPU 的功耗低、散热要求低、可靠性高、体积小、成本低。

目前 RISC CPU 三大代表性类型是 PowerPC、MIPS 和 ARM，性能大体上是从高到低顺序排列的。但每一种类型中又都包括了性能高低不等的系列型号。注意此 MIPS 非上文所说的 CPU 的参数 mips，而是被称为“无内部互锁流水级的微处理器”——这个名字够奇特吧！

- PowerPC：20 世纪 90 年代，IBM、Apple（苹果公司）和 Motorola 公司成功开发 PowerPC 芯片，并制造出基于 PowerPC 的多处理器计算机。PowerPC 架构的特点是可伸缩性好、方便灵活。好，现在老杨要问问大家，Power 是什么意思？是“力量”吗？也可以这么理解，但是最初，IBM 们的初衷却是 Performance Optimized With Enhanced RISC（性能优化的加强版 RISC）的缩写。
- MIPS：MIPS 科技（这家公司也叫 MIPS，和下面的 ARM 公司一样，都是先有公司名称，后有以该公司名称命名的技术体制。该公司曾经被 SGI 公司收购但几年后又脱离出来）为数字消费品、连网、安全等应用提供可供选择的内核。该公司把它的知识产权授权给半导体公司、ASIC 开发商、系统 OEM 等，常见的供应商有 Bercis、Atheros、Broadcom、TI、Marvell、Realtek、中国龙芯等，SONY 的 PS2 也采用 MIPS 架构。
- ARM：ARM 是 Advanced RISC Machines 的简称，是微处理器行业的一家知名企业，设计了大量高性能、廉价、耗能低的 RISC 处理器、相关技术及软件。技术具有性能高、成本低和能耗省的特点。目前最流行 ARM7 和 ARM9 两个版本。

（2）专用集成电路及实现技术——ASIC、CPLD 和 FPGA

应特定用户要求、为实现特定功能而设计、制造的完全专用的集成电路被称为 ASIC（Application Specific Intergrated Circuits）。ASIC 芯片本身不运行任何形式的代码，它一经制造出来，其功能就完全不能增加或改变，但并非所有内容都一成不变——开发人员可以利用改变管脚高低电平修改寄存器来配置功能参数。

各式各样的通信产品中使用了各式各样的 ASIC 芯片。ASIC 芯片是硬件逻辑，具有高效的特点，往往能达到“线速”处理。每一种 ASIC 芯片研发、制造一次性投入极高，但后期每生产一片的成本则相对较低（芯片的主要组成元素是硅，地球蕴藏量丰富，泥土中就含有大量的硅元素）。因此只有那些具备相当数量的需求，并且功能稳定、不需要经常变化的芯片，才会被制成 ASIC。ASIC 常应用于物理层和数据链路层，按类型分为 MAC、PHY、SAR、Framer、Switch 等，这些都是通信设备中经常用到的 ASIC。

如果对芯片功能灵活性要求高，或者用量非常有限的情况下，一般采用通用可编程器件通过编程来实现特定的功能，CPLD 和 FPGA 是这些可编程器件中的佼佼者。



FPGA（Field Programmable Gate Arrays），被称为“现场可编程门阵列”，它是为处理特定功能而优化的可定制的芯片。FPGA 通过编程可实现用户的功能。具体的操作方法是对 FPGA 内部的逻辑模块和输入/输出模块进行重新配置，这种“编程”不同于软件编程的概念。但运行的时候，FPGA 类似于 ASIC，实际性能也挺高的！FPGA 适用于找不到合适的 ASIC，而用量又比较小的情况。FPGA 较多应用于数据链路层和网络层。

复杂可编程逻辑器件（CPLD，Complex Programmable Logic Device）是一种更为复杂的可编程逻辑器件，它可以在制造完成后由用户根据自己的需要定义极为复杂的逻辑功能。

CPLD 和 FPGA 都可以根据开发者需要进行编程，以满足各种相对个性化的功能需求，但二者在集成度、速度以及编程方式上具有各自的特点。目前用 CPLD 和 FPGA 来进行 ASIC 设计是最为流行的方式之一。CPLD、FPGA 的代表厂家有 Xilinx、Altera、Lattice 等。

ASIC 作为集成电路技术与特定用户的整机或系统技术紧密结合的产物，与通用集成电路相比具有体积更小、重量更轻、功耗更低、可靠性提高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点，缺点是功能扩展性较弱。基于 CPLD 和 FPGA 的功能开发，受限于其基础模块本身的一些特性，要想做一些“异想天开”的事情，就没那么容易了！

（3）数字信号处理器（DSP）

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备，以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理，以得到符合人们需要的信号形式。数字信号处理的作用非常广泛，生活中常用的 DVD、机顶盒、MP3、MP4、视频终端、VoIP 系统等都大量使用 DSP 技术。

DSP 芯片是专用的处理器，通过运行其中的复杂代码来完成各种对信号进行处理的功能，擅长数值计算（也就是上面说到的数字信号处理功能），尤其擅长编解码、数字滤波、图形处理等，但在网络包处理方面很弱，这与网络处理器（NP）正好相反。这类专用处理器就像人类中的某些天才，比如某个人在数学方面悟性极强而在语言方面秉性极差，在传统教育制度中被称为“严重偏科”。DSP 编程对开发者要求非常高，一般由芯片厂商或者其第三方合作伙伴（而不是一般的通信设备厂商）来提供 DSP 上的算法。在这方面，我国还正处于初级阶段，与世界先进水平相距甚远！

DSP 结构类似于 CPU，它针对数字信号处理的需要而优化，和普通的 CPU 比较，差别最大的就是它有单指令完成乘加的功能。

最成功的 DSP 芯片当数美国德州仪器公司（Texas Instruments，简称 TI）的一系列产品。

DSP 应用程序一般用汇编语言写，这增加了 DSP 开发难度。因此，考虑选用 DSP 的一个关键因素是，是否有足够多能够较好地适应 DSP 处理器指令集的程序员。

（4）为通信网络定制的处理器——网络处理器（NP）

网络处理器，也叫 NP，是 Network Processor 的缩写。根据国际网络处理器会议的定义，网络处理器是一种可编程器件，它专门应用于通信领域的各种任务，比如数据包处理、协议分析、路由查找、声音/数据的汇聚、防火墙、QoS 等。网络处理器不但可为系统提供类似 ASIC 的处理速度，而且可以提供类似通用处理器的灵活性，商用产品于 1999 年正式面世后，



主要被用于处理线速数据。

与 ASIC 和 FPGA 相比，NP 的功能更容易定制，但性能往往会打折扣。网络处理器常应用于数据链路层和网络层，位于物理接口处理器和交换架构之间。

网络处理器，为了达到实至名归的目的，在被设计时就加入了大量与其他处理器不同的特性。因此，与通用处理器相比，网络处理器在网络分组数据处理上优势明显。

目前，提供 NP 芯片的厂家有很多，主要有 Intel、Agere、Motorola、IBM、Infeneon 等。国内使用比较广泛的是 Intel 公司的 IXP 系列。不同 IXP 系列处理器的 RISC 型号和主频不同，微引擎的个数也有所不同，在性能上也有很大差别。

（5）未来嵌入式的发展趋势——SOC

随着设计与制造技术的发展，集成电路设计从晶体管的集成发展到逻辑门的集成，现在又发展到 IP（Intellectual Property，智能属性，注意啊，这里的 IP 可不是 Internet Protocol）的集成，即 SoC 设计技术。

SoC 源于 20 世纪 90 年代中期，因使用 ASIC 实现芯片组受到启发，人们萌生应该将完整计算机所有不同的功能块一次直接集成于一颗芯片上的想法，这种芯片，就叫做 System on a Chip（SoC），直译的中文名是“系统级芯片”。

SoC 的定义，经过多年争论后，其应具备如下几个特征得到一致认同：

- SoC 是实现了复杂系统功能的超大规模集成电路（VLSI），应由可设计重用的 IP 核组成，IP 核是具有复杂系统功能的、能够独立出售的 VLSI 块；
- SoC 中使用一个以上嵌入式 CPU/数字信号处理器（DSP）；
- IP 核应采用先进的“超深亚微米以上”工艺技术；
- 外部可以对芯片进行编程。

SoC 技术的一大关键优势是它可以降低系统板上因信号在多个芯片之间进出带来的延迟而导致的性能局限，也提高了系统的可靠性和降低了总的系统成本。此外，在 PCB 板空间特别紧张和将低功耗视为第一设计目标的应用（如手机）中，SoC 常常是唯一的高性价比解决方案。

SoC 的其他应用包括可视电话、视频监控、VoIP 等。

（6）红花还要绿叶配——其他芯片介绍

如果说 CPU、DSP、FPGA、ASIC 是嵌入式通信产品开发中的“红花”，那么还有大量的“绿叶”级芯片，它们在通信产品中同样发挥着重要角色。老杨就把通信产品中经常遇到的其他类型的芯片简单列举如下。

- 存储芯片，分为内存 RAM（包括 SDRAM、SSRAM、ASRAM）和非易失存储器 ROM 两大类。
- 以太网芯片：主要包括包括以太网 MAC、PHY 和交换芯片等。
- ATM 芯片：包括 ATM Cell Switch、SAR、ATM STM-1 Framer 等。
- 接口处理芯片：主要包括各种接口（如 E1、STM-1、STM-4、STM-16 等）的 Framer 和时隙交换（TS Switch）等。

- 语音处理芯片：包括用户接口电路 SLIC、编解码 CODEC 芯片等。

各种器件还有很多，“学海无涯”，这里只先列举一部分，如果将来在通信产品开发中需要用到，要再去仔细学习。

（7）典型产品的架构分析

下面拿路由器和防火墙的架构设计举例，来看看哪种类型的 CPU 更加适合路由器、防火墙的开发。

基于 Intel CPU 的，也称为基于软件的路由器和防火墙设计。路由和交换如果由 Intel 的 CPU 来处理，是勉为其难的；基于 X86 架构的防火墙，由于受到 CPU 处理能力和 PCI 总线速度的制约，在实际应用中，尤其在小包情况下，这种结构的千兆防火墙远远达不到千兆的转发速度（64 字节包长时，双向转发速率一般为 20%以下），难以满足千兆骨干网络的应用要求。

基于 NP 的特点：高性能与灵活性兼备，但缺点是开发较复杂。NP 完全支持编程，编程模式简单，一旦有新的技术或者需求出现，可以很方便地通过微码编程进行实现。提供了更快的技术、功能跟进和更加灵活的扩展能力，特别是在新规格、新标准的支持上。采用 NP 架构的防火墙，各种算法可以通过硬件实现，在实现复杂的拥塞管理、队列调度、流分类和 QoS 功能的前提下，还可以达到极高的查找、转发性能，实现“硬转发”。

面对 ASIC 的特点：纯硬件的 ASIC 防火墙缺乏可编程性，这使得它缺乏灵活性，从而跟不上路由器和防火墙功能的快速发展。虽然现代的 ASIC 技术提高了可编程性，但从开发难度、开发成本和开发周期方面看，仍然困难重重。

（8）芯片之间的通信——“总线”

PCI（Peripheral Component Interconnect）：通用总线，唯一标准，数据格式自定义。PCI 总线是 Intel 公司于 1991 年下半年首先提出的，并与 IBM、Compaq、AST、HP、DEC 等 100 多家公司联合成立了 PCI Special Interest Group（PCI SIG），于 1992 年 6 月推出了 PCI 总线标准 1.0 版，1993 年 4 月底发布了 2.0 版，1995 年 6 月初发布了 2.1 版，1998 年 12 月又更新为 2.2 版。PCI 总线支持 32 位/64 位数据传输，其数据传输率在 32 位时为 132 Mbit/s 在 64 位时为 264 Mbit/s。PCI 以它诸多优点，成为现代微机中的主流总线。

Local：通用总线，若干标准，数据格式自定义，用于多种场合。

PCM，TDM：专用总线，若干标准，传输时分信号数据，可用于 PSTN 交换机、PBX、MUX、DDN 节点机等。

MII：专用总线，唯一标准，传输以太网包数据，用于以太网交换机。

UTOPIA：专用总线，唯一标准，传输 ATM 信元数据，用于 ATM 交换机。

CPCI：Compact PCI，紧凑型 PCI，是以 PCI 电气规范为标准的高性能工业用总线。适用于 3U 和 6U 高度的电路插板设计。CPCI 电路插板从前方插入机柜，I/O 数据的出口可以是前面板上的接口或者机柜的背板。它的出现解决了多年来电信系统工程师与设备制造商面临的棘手问题，比如传统电信设备总线 VME 与工业标准 PCI 总线不兼容问题。



3. 嵌入式操作系统

（1）综述

如果把嵌入式系统的芯片作为物质基础，那么嵌入式系统所采用的操作系统则可以算作是精神和灵魂。它通常包括与硬件相关的底层驱动软件、系统内核、设备驱动接口、通信协议、图形界面、标准化浏览器等部分。嵌入式操作系统被称为实时操作系统（RTOS）——细心的读者会有疑惑：为什么说它是“实时”的，难道 Windows 不实时吗？

和 RTOS 对应的还有一种“分时操作系统”，从名字中我们就能看出一点点差距。没错，分时操作系统是按照相等的时间片调度进程轮流运行，由调度程序自动计算进程的优先级，而不是由用户控制进程的优先级。既然不能由用户控制优先级，可以推断，这样的系统无法实时响应外部的突发事件，因此主要应用于科学计算和实时性要求不高的场合。Windows XP 这样的操作系统正是分时操作系统。

实时操作系统则能够在限定的时间内执行完所规定的功能，并能在限定的时间内对外部的突发事件作出响应。这不正是网络产品所需要的吗？处理速度快、优先级等级森严的过程控制、数据采集、信令交互、多媒体信息处理等时间敏感的场合，RTOS 将大显身手！

如果说上述的语言过于理论化，那么我们举个简单的例子。有 24 个人值班进行某个网络的维护，每个人负责 1 个小时，那么每天就有 24 个人轮流值班了。对于客户的来电的不同处理手段，我们分为“分时”维护和“实时”维护。分时维护的方案，是给每个人发一部电话，当某客户有了故障，会给任意一个人打电话，如果这个人正在处于值班期，那么他将立刻处理故障，但是如果他不处于值班期，则需要等到他值班的时间，才能处理这位客户的故障。实时维护则不同，这 24 个人只有一部电话，只要客户来电，负责值班的人立刻接听电话处理故障。

说到这里我们就明白了，通信产品一般对实时性要求是很高的，所以绝大部分的通信硬件产品都采用 RTOS。

嵌入式操作系统具有通用操作系统的基本功能，如能够有效管理越来越复杂的系统资源；能够把硬件虚拟化，使得开发人员从繁忙的驱动程序移植和维护中解脱出来；能够提供库函数、驱动程序、工具集以及应用程序。与通用操作系统相比，嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固态化以及应用的专用性等方面居功至伟！

下面来看一些代表性的 RTOS，进一步了解嵌入式操作系统，它们的名字都可以用“大名鼎鼎”来形容：经典实时操作系统代表 VxWorks；因开源而引人注目的嵌入式 Linux；微软在统治了桌面后不满足于现状而期望将控制力延伸到嵌入式系统的嵌入式 Windows；全球有 2 亿部智能手机装备了的第一大操作系统 Symbian。

（2）RTOS 的经典代表——VxWorks

VxWorks 是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式 RTOS，支持各种工业标准，包括前面提到的 ANSI C 和 TCP/IP 等。VxWorks 以其良好的可靠性和卓越的实时性、良好的持续发展能力以及友好的用户开发环境，被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等



高精尖技术及实时性要求极高的领域中，如卫星通信、军事演习、弹道制导、飞机导航等。在美国的 F-16、FA-18 战斗机、B-2 隐形轰炸机和爱国者导弹上，甚至连 1997 年 4 月在火星表面登陆的火星探测器上也使用到了 VxWorks（这里补充一句，中国的登月车已经采用的是 Linux 系统）。目前在全世界装有 VxWorks 系统的智能设备数以亿计，在互联网、电信和数据通信等众多领域应用极为广泛。

VxWorks 以短小精悍著称。内核最小仅 8KB，即便加上其他必要模块，所占用的空间也很小，但其巧妙的设计，让这个“小个子”尽显实时、多任务的特性。由于这一操作系统具有高度灵活性，用户可以很容易对它进行定制或作适当开发，来满足自己的实际应用需要。基于 VxWorks 的产品开发，如绿茵场上的马拉多纳，传球、配合、过人、射门轻巧灵活，一气呵成！

除了 VxWorks，更古老的实时操作系统系统如 pSOS 等，目前只有非常少的厂商在使用。如果哪个设备供应商还在使用 pSOS，你可以断定这家公司在通信行业比较资深，至少是 10 年前已经在进行通信产品开发，那么这家公司如果还活着，大概应该属于书香门第、行业先驱类型的了。

（3）嵌入式 Linux 操作系统

嵌入式 Linux 以其引人注目的优势吸引电子设计工程师从自己编写的或专用的 RTOS 转移到 Linux。Linux 以自由、免费、开放源代码为武器，经过互联网上遍布全球的程序员的努力，在 Intel、IBM、SUN、摩托罗拉等公司的支持下，在服务器系统、桌面系统及嵌入式系统领域都已经广泛应用。由于 Linux 具有源代码开放、软件授权费用低、应用开发人才资源丰富等优点，便于低成本地开发嵌入式系统。

在嵌入式 Linux 的各种应用市场中，语音和数据通信名列第一，嵌入式 Linux 成为智能手机的第三大操作系统，代表机型是摩托罗拉公司的 A 系列商务手机和 E 系列部分娱乐手机，如 A780、E680 系列、E2 等。

目前免费的和商业版 Linux 有很多种。选择操作系统时，要根据自己的嵌入式要求和实时性要求，尤其是该 Linux 是否有针对所需产品中的芯片或硬件模块的驱动，来选择适合自己的嵌入式 Linux。如果可能，尽量选择使用广泛的嵌入式 Linux 系统。

概括说来，将 Linux 应用于嵌入式系统的开发有如下优点。

- Linux 自身具备一整套工具链，容易自行建立嵌入式系统的开发环境和交叉运行环境，并且可以跨越在嵌入式系统开发中仿真工具（ICE）的障碍。
- 内核的完全开放，使得可以自己设计和开发出真正的硬实时系统；对于软实时系统，在 Linux 中也容易得到实现。
- 强大的网络支持，使得可以利用 Linux 的网络协议栈开发嵌入式的 TCP/IP 网络协议栈。

在嵌入式系统中使用 Linux 有两种途径：

- 用户自己装配（称为“DIY 内核”），可以在 http://www.kernel.org/和 GNU 的网站找



到全部 Linux 代码，然后再编译生成需要版本的工具链和应用程序库，这个过程比较耗时和困难。

- 选择一个商业的嵌入式 Linux 操作系统平台。商业化的嵌入式 Linux 版本是针对嵌入式处理器而优化设计的，已经支持了各种半导体厂家的评估板和主要的设备驱动，商业化的嵌入式 Linux 包含了文件系统、应用、实时性扩展和技术支持培训服务。

现今国外著名的商业化嵌入式 Linux 产品有：MontaVista Linux、Bluecat Linux、Timesys Linux、Metrowork Linux（原 Lineo）、Vlinux（韩国）和 Redhat Linux 等，国内也有红旗、中软等嵌入式 Linux。开源的 Linux 代表是 ucLinux。

（4）嵌入式 Windows 操作系统

强大的微软帝国是我们熟知的操作系统全球之王，在嵌入式操作系统中，微软公司也有一定份额。Windows CE 就是微软针对个人电脑以外的计算机产品所研发的嵌入式操作系统，CE 是指什么？微软公司故弄玄虚，留下了让用户自己想象的空间，而民间的解释五花八门，比如 Customer Embedded（客户内嵌），Compact Edition（微缩版本），Consumer Electronics（消费类电子），等等，而老杨更愿意给它起个中文名字叫做“宠儿（Chong Er）”——哈哈，别当真，这只是个玩笑而已，不过微软的确视其为自己操作系统产品中的“掌上明珠”，竭力精心呵护。

目前最新版本为 Windows CE 6.0。在开发环境上，微软提供兼容于.NET Framework 的开发组件.NET Compact Framework，让正在学习.NET 或已拥有.NET 程序开发技术的开发人员能迅速而顺利地在搭载 Windows CE .NET 系统的装置上开发应用程序。

用于掌上电脑（Pocket PC）、智能手机（Smart Phone）及随身音乐播放器上的 Windows CE 系统称为 Windows Mobile，即“移动版 Windows”。Windows Mobile 将大家熟悉的 Windows 桌面扩展到了个人设备中——比尔·盖茨虽然退休了，但是他创立的操作系统帝国仍然占据着从桌面到手机、PDA、MP3 以及类似的许多角落。就像很多明星“演而优则歌”，微软因为其在桌面系统占据垄断地位，因此在嵌入式系统方面，因用户的熟悉而更容易被接受。Windows CE 的如下优势，都与其在桌面系统上的垄断地位密不可分。

- 平台功能强大，应用丰富。基于 Windows 的应用软件极大丰富，这些应用通过 Windows CE 可以很容易地扩展到嵌入式设备中。目前手持设备上的 Windows CE 平台集成了 Outlook、MSN、Pocket Word、Pocket Excel、媒体播放器以及游戏等多种应用程序。
- 沿用了微软 Windows 操作系统的界面，对于使用者来说十分熟悉，有利于智能终端推广，同时各种保存在电脑或手机里的信息、资料可以轻松实现共享。
- 基于 Windows CE 的应用开发人才丰富，任何一个做过 Windows 软件开发的程序员，只要花一定的时间学习，就可以为 Windows CE 智能终端开发应用软件。

世上只有完美的想法，没有完美的现实。Windows CE 也有自身的局限性，比如占用系统资源高、系统容易崩溃、机型价格相对较高等。此外，Windows 源代码不向用户开放，不利于软件开发商根据自己需求开发独特的应用。

（5）手机操作系统中的明星——Symbian 系统简介

1998 年 6 月，诺基亚、摩托罗拉、爱立信、三菱和 Psion 在英国伦敦共同投资成立 Symbian 公司。这个公司成立的目的是设计并开发出一种可以在手机及其他类似的移动通信终端产品上运行的开放性操作系统，以此来推动高端智能移动电话及类似的终端产品尽快进入大众消费领域。Symbian 因强大而成功，并一度占据了世界智能手机操作系统市场超过 80%的份额，目前市场上已拥有超过两亿部基于 Symbian 的手机。

（6）为嵌入式硬件选择操作系统

嵌入式实时操作系统在目前的嵌入式应用中用得越来越广泛，尤其在功能复杂、系统庞大的应用中显得愈来愈重要。

- RTOS 提高了系统的可靠性。在控制系统中，出于安全方面的考虑，要求系统起码不能崩溃，而且还要有“自愈”能力——你可以不接受一个信号，但是不能被这个信号所伤害，操作系统的崩溃就像人心理底线的崩溃一样可怕。长期以来的前后台系统软件设计在遇到强干扰时，运行的程序产生异常、出错、跑飞，甚至死循环，瞬时，樯橹灰飞烟灭！而实时操作系统必须做到处变不惊，即使干扰力很强，也只造成局部破坏力，而整个系统必须安然无恙。处变不惊，才是智者的处世风范。
- RTOS 有助于提高开发效率，缩短开发周期。在嵌入式实时操作系统环境下，开发一个复杂的应用程序，通常可以按照软件工程中的“解耦原则”，将整个程序分解为多个任务模块。每个任务模块的调试、修改几乎不影响其他模块。商业软件一般都提供了良好的多任务调试环境。
- RTOS 充分发挥了 32 位 CPU 的多任务潜力。32 位 CPU 比 8 位和 16 位 CPU 快，另外它本来是为运行多用户、多任务操作系统而设计的，特别适于运行多任务实时系统。32 位 CPU 采用有利于提高系统可靠性和稳定性的设计，使其更容易做到不崩溃。从某种意义上说，没有操作系统的计算机（俗称“裸机”）是没有用的。在嵌入式应用中，只有把 CPU 嵌入到系统中，同时又把操作系统嵌入进去，才是真正的计算机嵌入式应用。

当我们在设计通信设备或者手机终端软件等嵌入式产品时，RTOS 的选择至关重要。在选择嵌入式操作系统时，可以遵循以下原则。总的来说，就是“做加法还是做减法”的问题。

- 市场进入时间：制定产品时间表与选择操作系统有关系，实际产品和一般演示是不同的。目前 Windows 程序员可能是人力资源最丰富的，也是现成资源最多的。使用 Windows CE 能够很快进入市场。因为 Windows CE+X86 做产品实际上是在做减法，去掉不要的功能，能很快出产品，但伴随的可能是成本高，核心竞争力差。而某些高效的操作系统可能由于编程人员缺乏，或由于这方面的技术积累不够，影响开发进度。
- 可移植性：操作系统相关性，良好的软件移植性，是指软件可以在不同平台、不同系统上运行，跟操作系统无关。
- 可利用资源：产品开发不同于学术课题研究，它以快速、低成本、高质量地推出适合用户需求的产品为目的。集中精力研发出产品的特色，其他功能尽量由操作系统提供



或采用第三方产品，因此操作系统的可利用资源对于选型是一个重要参考条件。

- 系统定制能力：信息产品不同于传统 PC 的 Wintel 结构的单纯性，用户的需求是千差万别的，硬件平台也都不一样，所以对系统的定制能力提出了要求。要分析产品是否对系统底层有改动的需求，这种改动是否伴随着产品特色功能的不断涌现。
- 成本：操作系统的选择会对成本有什么影响呢？Linux 免费，Windows CE 等商业系统需要支付许可证使用费，但这都不是问题的答案。成本是需要综合权衡以后进行考虑的——选择某一系统可能会对其他一系列的因素产生影响，如对硬件设备的选型、人员投入以及公司管理和与其他合作伙伴的共同开发之间的沟通等许多方面的影响。
- 中文内核支持：国内产品需要对中文的支持。由于操作系统多数是采用西文方式，是否支持双字节编码方式，是否遵循 GBK、GB l8030 等各种国家标准，是否支持中文输入与处理，是否提供第三方中文输入接口，是针对国内用户的嵌入式产品必须考虑的重要因素。

上面提到用 Windows CE+x86 做产品是减法，这实际上就是所谓“PC 家电化”；另外一种做法是加法，利用家电行业的硬件解决方案（绝大部分是非 x86 的）加以改进，加上嵌入式操作系统，再加上应用软件。这是所谓“家电 PC 化”的做法，这种加法的优势是成本低，特色突出，缺点是产品研发周期长，难度大（需要深入了解硬件和操作系统）。如果选择这种做法，Linux 是一个好选择，它让你能够深入到系统底层，如果你愿意并且有能力。

4．板级支持包 BSP

BSP 是板级支持包，是介于主板硬件和操作系统之间的一层，应该说是属于操作系统的一部分，主要目的是为了支持操作系统，使之能够更好地运行于硬件之上。BSP 是相对于操作系统而言的，不同的操作系统对应于不同定义形式的 BSP，例如 VxWorks 的 BSP 和 Linux 的 BSP 相对于某一 CPU 来说，尽管实现的功能一样，可是写法和接口定义是完全不同的，所以一定要按照该系统 BSP 的定义形式来写（BSP 的编程过程大多数是在某一个成型的 BSP 模板上进行修改），这样才能与上层操作系统保持正确的接口，良好地支持上层操作系统。

BSP 开发处于整个嵌入式开发的前期，是后面系统上应用程序能够正常运行的保证。BSP 部分在操作系统和上层应用程序之间，所以这就要求 BSP 程序员对硬件、软件和操作系统都有一定的了解，这样才能做好 BSP 编程。

5．嵌入式系统上层应用软件开发

对于一个嵌入式系统，设计好了硬件，选好了操作系统，BSP 也搞定了，那么最后一个环节——上层应用开发就可以开始了，只剩这一个环节就可以大功告成。但别高兴得太早，通常这个环节将占据整个开发工作量的 60%～90%！

嵌入式系统的应用层开发是个宽泛的话题，总体来说，做过 PC 应用开发的工程师，如果又能学习一下《×××嵌入式操作系统编程指南》的话，都可以做嵌入式系统上层应用开发。当然最重要的一点是，你必须知道，你准备开发的通信产品是干什么的？准备支持哪些协议？需要达到何种性能？等等。也就是说，你需要建立通信的概念。准备从事通信



产品开发的人应该记住，纯粹从软件编程技巧而言，嵌入式通信产品应用软件很简单；它唯一不简单的地方在于对“通信”概念的理解和实现，比如说那些通信过程、通信协议、各种通信封包格式的变化、对某些字段是否正确的检查及出错情况下的正确处理等。所以，功夫应该下在“通信”上，这也是本书除本章以外其他章节都在试图引领大家去理解的那些概念。

当然，在通信产品应用软件中，有时候也需要实现非常复杂，或者非常高效的算法，这时候往往也需要编程的人具备数据结构、数字信号处理等学科的深厚基础。

至于其他问题，比如嵌入式系统应用软件通常采用什么编程语言？简单一说，大家就都明白了。用得最多的，一个是C语言，一个是C++。

C语言的设计目标，是既具有汇编语言的效率，又具有高级语言的易编程性。从20世纪80年代中期C语言涉足实时系统后，它受到了普遍欢迎，目前是使用最广泛的嵌入式系统编程语言。C++在支持现代软件工程、面向对象编程（OOP）、结构化等方面对C进行了卓有成效的改进，但在程序代码容量、执行速度、程序复杂程度等方面比C语言程序性能差一些。在一些大型通信系统中，使用C++，将具有更好的封装性，程序显得概念更清晰，但我们为此必须准备更高性能的CPU，或者降低设备对性能的要求。世界上的事情往往如此，鱼和熊掌，从来不能“兼得”。

其他语言，比如汇编，比如Java，都只在特殊的情况下运用，不再过多描述了。

对于通信产品开发，有一句流行语，**“10%的代码是处理正常流程的，90%是用于进行异常处理的”**，这是许多拥有大量通信开发经验教训的专家们挂在嘴边的话。在通信世界中，经常是各家的设备互相联系，它们之间通过各种标准化的通信协议来互相握手互相理解，虽说是“智能设备”，但终究是没有思维的，不具有模糊推理之类的能力；所以，什么话都得说得毫不含糊，该是“一二三”，绝不能说“四”，如果有人说了“四”，怎么办？那么就得在标准中规定，给对方回个“五”，表示的意思是“你说四是不应该的”；如果你突然收到了一个“五”，但又没有说过“四”，那怎么办？你就得再做相应的处理，查查自身问题，再想想可能发生了什么状况。总之，在通信软件中，容不得半点似是而非或者似非而是，需要严格地对各类异常进行恰当的处理。通常90%的开发工作就消耗在这些处理上了。

不信你可以试一试，比如，你是个通信专业的学生，觉得某个协议可能挺简单的，自己就编了些代码，觉得协议的功能都实现了，自己仿照两个设备拿它进行通信，也能行。但如果你把它放到网上去用，你可能会焦头烂额——一会儿工作挺好，一会儿又死活不通，或者今天接在思科路由器下跑得倍儿欢，明天连到D-LINK交换机下又始终没点反应……后来你毕业参加工作，来到了某知名通信设备制造企业，参与一个通信产品开发，在那里你发现这个协议是公司花钱买来的（商用协议软件），花了很多钱；再将那些代码一看，哇，好大的棉花糖！哦，不，是软件包！代码量可能是你当初所编代码的100倍，其中还有些超级复杂的数据结构和算法……但就是因为这样，这家知名通信设备制造企业的产品



才能把产品卖到全世界每个市场触及的角落！而你在学校写的那个，只能当作你年轻时青涩的记忆了。很多通信企业的市场人员，对客户提出的需求总喜欢百依百顺，因为客户和市场人员都不做开发，不知道开发的辛苦，总觉得这点东西应该三天能解决，前期的过度承诺很可能造成实施后的四处救火。对于大型产品的开发，一个人花三天时间，几乎做不了什么事情！

通信产品开发，说简单也简单，说难也真难！



关于产品的认证

通信产品要进入市场并获得应用，要获得机构的认证。全球范围内的各种认证繁多，比较知名的如国际上的 FCC（美国）、CE（欧洲）、RoHS（欧洲）等，还有各个国家自己的认证，如 GS（德国）、MPRII（瑞典）、MEMKO（挪威）等；而在国内市场，产品要获得应用，往往要通过 3C 和工业和信息化部（前信息产业部）的测试并获得“入网证”。

1. 3C

3C 认证就是是“中国强制性产品认证”的简称，它对强制性产品认证的法律依据、实施强制性产品认证的产品范围、强制性产品认证标志的使用、强制性产品认证的监督管理等作了统一的规定。

国家对强制性产品认证使用统一的标志，标志名称为“中国强制认证”，英文全称“China Compulsory Certification”，英文缩写可简称为“3C”标志。3C 是自 2002 年 8 月 1 日开始实施的。

2. FCC

FCC 是美国联邦通信委员会的简称，它是美国政府的一个独立机构，直接对美国国会负责。FCC 通过控制无线电广播、电视、电信、卫星和电缆来协调国内与国际的通信。为确保与生命财产有关的无线电和电信产品的安全性，FCC 的工程部负责委员会的技术支持，同时负责设备认可方面的事务。许多无线电应用产品、通信产品和数字产品要进入美国市场，都要求 FCC 的认可。

美国连续多年都是我国的第二大贸易伙伴，贸易额逐渐增加，对美国的出口不容小觑。出口美国的通信产品，一定要获得 FCC 认证。

3. CE

CE 是一种安全认证标志，被视为制造商打开并进入欧洲市场的“护照”。CE 代表欧洲统一（Conformite Europeenne)。凡是贴有 CE 标志的产品都可在欧盟各成员国销售，无须符合每个成员国的要求，从而实现了商品在欧盟成员国范围内的自由流通。

在欧盟市场，CE 标志属强制性认证标志，加贴 CE 标志，可表明产品符合欧盟《技术协调与标准化新方法》指令的基本要求。这是欧盟法律对产品提出的一种强制性要求。

4. RoHS

首次注意到电气、电子设备中含有对人体健康有害的重金属，是在 2000 年，荷兰在一批市场销售的游戏机的电缆中发现重金属——镉（Cd)。事实上，电气电子产品在生产

中目前大量使用的焊锡、包装箱印刷的油墨都含有铅等有害重金属。欧盟议会和欧盟理事会于 2003 年 1 月通过了 RoHS 指令，全称是 the Restriction of the use of certain Hazardous substances in Electrical and Electronic Equipment，即“在电子电气设备中限制使用某些有害物质指令”，也称 2002/95/EC 指令。2005 年欧盟又以 2005/618/EC 决议的形式对 2002/95/EC 进行了补充，明确规定了 6 种有害物质的最大限量值。RoHS 一共列出 6 种有害物质，包括铅（Pb）、镉（Cd）、汞（Hg）、六价铬（Cr6+）、多溴二苯醚（PBDE）和多溴联苯（PBB）。

RoHS 于 2006 年 7 月 1 日开始强制执行，是目前最严格的环境认证之一。它是一种宣告式认证，设备制造商开发的硬件产品，每个零部件和芯片都需要有 RoHS 认证，这样这款产品就可以宣告支持 RoHS，一旦出现问题，则可以追根溯源。

5. ISO9000

ISO9000 是 ISO 推出的。ISO9000 是指质量管理体系标准，它不是指一个标准，而是一族标准的统称。

ISO9000 详细规定制造企业和服务企业如何加强内部管理、如何以客户为本、如何进行质量控制和过程管理、如何强化领导者作用、如何持续改进、如何采用基于事实的决策方法等。它不从产品的最终状态入手（那是技术细节所决定的），而是从企业管理和过程控制角度，为企业提供一揽子的管理解决方案，期望从根本上提高全球企业的产品质量和服务水平。

ISO9000 的推出，本质上是为了加强了品质管理。为适应品质竞争的需要，全球的企业家们纷纷采用 ISO9000 系列标准在企业内部建立品质管理体系，申请品质体系认证，很快形成了一个世界性的潮流。目前，全世界已有 100 多个国家和地区正在积极推行 ISO9000 国际标准。ISO9000 的好处是，内部可强化管理，提高人员素质和企业文化；外部提升企业形象和市场份额。当前在我国，通信企业只有获得了 ISO9000 认证后，开发出的产品才有可能获得工业和信息化部颁发的入网证。

6. 工业和信息化部（原信息产业部）的入网证

只有工业和信息化部（原信息产业部）测试后并颁发入网证的电信设备方可在中国大陆市场进行销售。有关这方面的信息，读者在以后的工作中会经常遇到。



通信产品开发的思路

通信产品的开发，是一个长的价值链条，有芯片开发、成品开发、OEM，等等。很多通信产品的制造商，并没有自己的核心技术，而是采用芯片供应商提供的套片和解决方案，直接进行生产。而大量的设备制造商，需要自己开发相关的软件、硬件、网管等产品。

通信产品的开发周期一般都较长，而市场竞争激烈、市场变化快，因此必须有较深入的对市场的理解、有自身团队较强的技术功底和一定的市场机遇，才能真正开发成功一款产品。客观地说，真正的高科技产品，都是具有高风险的，失败者多，成功者少，是这个行业的规律。如果哪类产品大家开发都成功了，说明其技术含量不高，竞争优势不够荒



明显。

通信产品的开发需要根据国际、国内标准来进行，并不断创新。当然，个别的在市场上有话语权的企业，会定义自己的标准，并垄断一部分市场。思科的 EIGRP 协议是自己的私有协议，但是由于互联网大量采用思科设备并使用该协议，就无形中制造了一个其他厂家很难迈过的门槛。这种门槛，让强者越强，弱者越弱。当然也有反垄断的法律法规限制过度垄断的行为。

俗话说，“思路决定出路”，那么我们就来看看，通信产品开发要获得更大的成功可能性，应该有哪些思路。

通信行业产品开发，一般要经历如下过程。

- 市场调研：市场调查也可以说是动向预测，包括设计方向、设计思路及成本分析。对于非完全新型的产品，可选择同类名牌产品做调研对象，改进产品的目前成本与预测它的实际成本。理论上需要市场部、PM（项目管理）部门及 R&D（研发）部门共同研究决定，并制定“研发计划书”。市场调研是产品开发周期中最早开始的，但并不是开始开发后就立刻结束的，而是贯穿于通信产品整个生命周期，必须不断了解客户需求、通信标准制定过程，才能做出符合市场需求的可销售的产品。市场调研是一个富有挑战性的工作，不同经历的人对市场的表现都有各自的预期，未来市场将如何，难以精确预测，有时候不仅仅是市场需求，还要考虑政策面、法律法规面的一些消息。说高新技术企业是“高投入、高产出、高风险”，尤其是最后的这个“高风险”，就是指未来是人最难以把握的。
- 产品可行性研究和设计定型：经过市场调研后，开始根据市场需求和自身能力制定产品功能、性能等参数。可行性研究包括功能设定、技术难度、外观、成本预算及计划周期等。在此阶段，开发人员应当大体确定为满足设计要求需要用到哪些操作系统、元器件，通过什么样的方式进行开发、加工和装配等。产品设计定型，一般通信企业要反复研究，权衡利弊，这里面最容易让人产生失误的地方是，对市场了解清楚后，对自身实力不够了解，过高或者过低地评价了自身队伍，从而造成在后续的产品开发过程中，明明是好东西，却遇到重大技术难题而难以攻克。在产品设计定型过程中还要大概计算开发成本、开发周期、公司资金状况和销售预期，尽可能避免因预算偏差较大而带来的后续开发乏力的状况。
- 产品开发过程：根据产品设计，进行产品开发。这是核心环节。
- 内部测试：在开发过程中持续进行内部测试并不断修改 bug；这个过程应该在产品定型阶段就规划好大体时间，并有条不紊地进行，如果出现当初预期和实际偏差极大，应该迅速找到原因并进行时间、资金、人力上的调整。有些企业的开发由于当初的预测出现偏差，造成开发周期拖延，甚至形成“无底洞”或“马拉松”的局面，而又不及时调整开发进度和资金准备，霸王硬上弓，强行进行市场推广，

这对产品成熟是非常不利的，因产品不成熟造成市场口碑不好，可能会给企业带来很大的负面影响！

- 小批量试生产和小规模试验局：联系一些典型客户，建立试验局，在试验局建立过程中摸索规律，并向客户咨询使用效果、意见和建议。试验局是一个典型的闭环反馈型过程，在这个阶段，要重视你的每一个客户和每一个应用细节；要知道，在实验室里测试和在用户现场测试，情况是不完全相同的，很多兼容性测试、稳定性测试和高压力测试，都要在试验局中进行。再好的测试仪表，都不可能100%真实地模仿现场情况——有经验的工程师都对这句话有着深刻的认识。在这个阶段，你要着手入网和各种认证的工作了！
- 小规模试销：在特定地区进行产品小规模试销，根据产品状况和前期产品设计制定销售模式和销售价格。
- 大规模商用：在产品达到市场对功能、性能和稳定性要求后，可进行大规模商用。

当然，在国内实际市场中，许多设备制造商（尤其是实力强的大厂家）都超前承诺产品的功能、性能指标，尤其是销售给主流电信运营商的一些高端产品，超前承诺现象是业内的“潜规则”。本书只关心相关通信技术，对这种现象就不做评论了。



老杨有话说——关于中国自主知识产权的“一声叹息”

中国在努力改变自己在知识产权方面的欠缺，为此，政府和企业都付出了巨大的代价。尤其是软件产业，中国人的教训是惨痛的！

老杨在撰写本节内容的时候，心情极为复杂。老杨试图在本章内容中加入中国人在编程语言方面的贡献，但是很遗憾，几乎没有！这个世界的经营和管理，绝大部分都在用软件来做支撑，可是10多亿人口的泱泱大国，我们在软件基础研究方面，没有哪一项处于国际领先地位！中国人在软件方面发展不足20年时间，求伯君、雷军这样的先驱少之又少，而即使如求伯君雷军这样的中国软件伟人，也在盗版的强大攻势下显得那么弱不禁风。在真正的科学技术方面，我们曾经突破过某些点（比如杂交水稻、合成胰岛素、原子弹氢弹、载人航天等），但却一直没有在某个领域全面突破过！这种现状，让我们这代人备感焦急、充满压力！在此，让我们对中国的ICT界做一下反思。

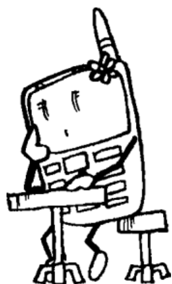
- 中国ICT领域必须有自己的基础研究，而不仅仅是应用开发，除了把计算机的机箱做成各种形状外，我们还要看看人家的CPU是怎么做的；除了把别人的芯片拿来组装一堆产品拿出去卖以外，还要去研究新的芯片领域是否有机会介入。看看C语言和C++语言的创造者，老杨在前文恳请大家记住的两个人名和一个企业名称——他们对基础科学研究孜孜不倦，从而收获累累硕果，这对我们应该有所启发！
- 中国ICT行业必须有大量自主知识产权的技术和产品，必须拥有自己的标准，才能在发展中不受束缚。在通信领域，若干年来，由于缺乏自己的通信标准，我们支付了多少专



利费给西方国家，这笔账，难道不应该好好算算吗？

- 看到不足的同时，也要看到进步、看到希望，需要年轻的通信人时时去研究别人成功的“秘诀”，“他山之石，可以攻玉”，中国的通信人以至整个 ICT 界，应在逆势中奋起，为国家、为民族做出自己的贡献！
- 我们不应该否定“社会化大分工”，因为这种分工是社会的进步、人类文明发展的标志，但是并不是所有的社会化分工都是平等、对等的，现实的不平等必须通过加倍的努力去改变！中国人应该力求在社会分工中获得更高的收益和更广泛的尊重，最起码，在社会分工中应该享有与西方发达国家对等谈判的机会！

老杨希望，在人类子孙后代的通信教科书上，写满中国人的名字！



第 21 章

Chapter 21

相关国际标准化组织

我们经常看到某标准由某机构提出的文字。这些文字中，往往只会提及这些国际组织的英文字母简写，如 ISO、IETF、IEEE，这些由几个英文字母组成的简写到底代表着什么呢？这一章，就让我们来一一揭开它们神秘的面纱。其实，任何标准都是人制定的，都代表了一定的利益集团，作为通信人，要了解这些标准化组织，了解其背后的利益集团的代表，这对中国人自主知识产权非常重要。

ISO
中文名称：国际标准化组织
英文名称：International Organization for Standardization
组织性质：非政府组织

1．简介

ISO 是一个全球性的非政府组织，成立于 1947 年，是全球范围内权威性国际标准化机构中的龙头老大。ISO 的目的和宗旨是“在全世界范围内促进标准化工作的发展，以便于国际物资交流和服务，并扩大在知识、科学、技术和经济方面的合作”。它的主要活动是制定国际标准，协调世界范围的标准化工作，组织各成员国和技术委员会进行情报交流，以及与其他国际组织进行合作，共同研究有关标准化问题。这些工作由全体大会、理事会、政策发展委员会、ISO 中央秘书处、特别咨询组、技术管理局、标样委员会、技术咨询组、技术委员会等来完成。

ISO 的成员分为团体成员和通讯成员。团体成员是指国家级的标准化机构，每个国家只能有一个代表机构参加，也都是由政府派遣代表机构。通讯成员是指没有建立国家级的标准化机构的发展中国家（或地区）。通讯成员属于观察员性质，可以了解情况，但不参加 ISO 技术工作，属于“列席”。等条件成熟了、合格了，可转为团体成员，就像员工到企业上班有个“转正”过程一样，不过这个过程一般需要若干年时间。

国际标准是 ISO 成员团体达成共识的结果。它可能被各个国家采用而成为国家标准。标准的形成过程一般分为 6 个阶段，即提案、准备、委员会、询问、批准和出版阶段。



2. 名称的典故

关于 ISO，我们看到一件奇怪的事情：按照我们常规的理解，英文的缩写方式应该是首字母的组合，可国际标准化组织（International Organization for Standardization）的全名和简称 ISO 却存在差异，为什么不是 IOS 呢？这并非和思科的操作系统（也叫 IOS）冲突，这里面有一个小典故呢。

其实 ISO 是一个词，它源于希腊语，意为“相等”，现在有一系列用它作前缀的词，诸如“isometric”（意为“尺寸相等”）“isonomy”（意为“法律平等”）。从“相等”到“标准”，内涵上的联系使“ISO”成为组织的简称。

3. ISO 与中国

1946 年，中国与其他 24 国的共 64 名代表在伦敦集结，正式表决通过建立国际化标准组织。1947 年，国际标准化组织 ISO 正式成立。1978 年，我国以中国标准化协会的名义，重新加入 ISO。1982 年 9 月，我国当选并连任理事国。

ITU　　**中文名称：国际电信联盟**
英文名称：International Telecommunication Union
组织性质：官方，联合国下属机构

1. 简介

ITU 是电信界最权威的标准制订机构，成立于 1865 年，目前是联合国的一个专门机构，总部设在瑞士日内瓦。ITU 的三个主要部门分别是电信标准化部门（就是本书我们经常提到的 ITU-T，承担着实质性标准制订工作）、无线电通信部门和电信发展部门。

ITU 成员由各个国家和地区电信主管部门组成，同时也接纳那些经过主管部门批准、ITU 认可的私营电信机构、工业和科学组织、金融机构、开发机构和从事电信的实体参与活动。

2. ITU 与中国

中华人民共和国成立后，我国的合法席位一度被非法剥夺。

1972 年 5 月 30 日，国际电信联盟第 27 届行政理事会正式恢复了我国在国际电信联盟的合法权利和席位。我国由主管部门（现为工业和信息化部）代表中国参加国际电信联盟的各项活动。

IETF　　**中文名称：互联网工程任务组**
英文名称：Internet Engineering Task Force
组织性质：国际民间机构

1. IETF 简介

IETF 是松散的、自律的、志愿的民间学术组织，于 1985 年底成立，它的主要任务是负责互联网相关技术规范的研发和制定。



它是一个由为互联网技术工程及发展做出贡献的专家自发参与和管理的国际民间机构，汇集了与互联网架构演化和互联网稳定运作等业务相关的网络设计者、运营者和研究人员，并向所有对该行业感兴趣的人开放，是互联网行业精英“集大成者”。IETF 大会每年举行 3 次，规模均在千人以上。IETF 没有严格的“成员”概念，也不设理事会和委员，这仿佛与互联网的“开放性”交相辉映。

IETF大量的技术性工作都是由它们内部的各类工作组协作完成。这些工作组按不同类别，如路由、传输、安全等专项课题而分别组建。IETF 的交流工作主要是在各个工作组所设立的邮件组中进行，这也是 IETF 的主要工作方式。IETF 的工作成果，以 RFC 方式形式对外发布。但 RFC 并不为 IETF 所独有。下面给各位简单介绍大名鼎鼎的 RFC。

2. RFC 简介

RFC，Request For Comments，即“请求评议”，是一系列以编号排定的文件。文件收集了有关互联网相关资讯，以及 UNIX 和互联网社群的软件文件。目前 RFC 文件是由 Internet Society（ISOC）赞助发行。基本的互联网通信协议，如 TCP/IP、PPP、RADIUS 等我们已经熟知的术语，都在 RFC 文件内有详细说明。RFC 文件还额外在标准内加入许多的论题，例如对于互联网新开发的协议及发展中所有的记录。几乎所有的互联网标准都收录在 RFC 文件之中。RFC 文件只有新增，不会有取消或中途停止发行的情形。但是对于同一主题而言，新的 RFC 文件可以声明取代旧的 RFC 文件。RFC 文件是纯 ASCII 文字档格式的，可转档成其他档案格式。RFC 文件有封面、目录及页首页尾和页码，章节用数字标示，如 1969 年第一个文档 RFC 1。RFC 1000 是 RFC 的指南。

如果你想成为网络方面的专家，那么 RFC 无疑是最佳教材之一，所以 RFC 享有“网络知识圣经”之美誉。通常，当某家机构或团体开发出了一套标准或提出对某种标准的设想，想要征询外界的意见时，就会在 Internet 上发放一份 RFC，对这一问题感兴趣的人可以阅读该 RFC 并提出自己的意见；绝大部分网络标准的制定都是以 RFC 的形式开始，经过大量的论证和修改过程，由主要的标准化组织（如 ITU-T）所制定的，但在 RFC 中所收录的文件并不都是正在使用或为大家所公认的，也有很大一部分只在某个局部领域被使用或并没有被采用，一份 RFC 具体处于什么状态都在文件中作了明确的标识。

3. IETF 的组织与使命

虽然说 IETF 是民间机构，有别于像 ITU 这样的传统意义上的标准制定组织。但实质上 IETF 已成为全球互联网界最具权威的大型技术研究组织。

IETF 的参与者都是志愿人员，他们大多是通过 IETF 每年召开的 3 次会议来完成该组织的如下使命。

- 鉴定互联网的运行和技术问题，并提出解决方案。
- 详细说明互联网协议的发展或用途，解决相应问题。
- 向 IESG 提出针对互联网协议标准及用途的建议。
- 促进互联网研究任务组（IRTF）的技术研究成果向互联网社区推广。



- 为互联网用户、研究人员、行销商、制造商及管理者等提供信息交流的论坛。

IEEE　**中文名称：电气和电子工程师协会**
英文名称：Institute of Electrical and Electronic Engineers
组织性质：国际学术组织

1. IEEE 简介

IEEE 成立于 1963 年，由美国电气工程师学会（成立于 1884 年）和无线电工程师学会（成立于 1912 年）合并组成的。总部设在美国纽约。1999 年会员达 35 万人，分布在 150 个国家和地区，是一个国际性学术组织。

IEEE 的宗旨是促进从计算机工程、生物医学、通信、电力、航天、用户电子学等技术领域的科技和信息交流，开展教育培训，制定和推荐电气、电子技术标准，奖励有科技成就的会员等。

2. IEEE 与中国

IEEE 在中国大陆陆续设置了上海分会、南京分会、成都分会、北京分会、西安分会、哈尔滨分会和武汉分会。

EIA　**中文名称：电子工业协会**
英文名称：Electronic Industries Association

EIA 成立于 1924 年，成立之初，并不叫“美国电子工业协会”，而是叫“无线电制造商协会（RMA，Radio Manufacturers' Association）”，在当时，是个只有 17 名成员的组织，代表不过 200 万美元产值的无线电制造业。而今，EIA 成员已超过 500 名，代表美国 2 000 亿美元产值电子工业制造商，成为纯服务性的全国贸易组织，总部设在美国弗吉尼亚州的阿灵顿。EIA 广泛代表了设计生产电子元件、部件、通信系统和设备的制造商以及工业界、政府和用户的利益，在提高美国制造商的竞争力方面起到了重要的作用。

ETSI　**中文名称：欧洲电信标准学会**
英文名称：European Telecommunications Standards Institute

欧洲电信标准学会是欧洲地区性标准化组织，创建于 1988 年，其宗旨是为贯彻欧洲邮电管理委员会（CEPT）和欧共体委员会（CEC）确定的电信政策，满足市场各方面及管制部门的标准化需求，实现开放、统一、竞争的欧洲电信市场而及时制订高质量的电信标准，以促进欧洲电信基础设施的融合；确保欧洲各电信网间互通；确保未来电信业务的统一；实现终端设备的相互兼容；实现电信产品的竞争和自由流通；为开放和建立新的泛欧电信网络和业务提供技术基础；并为世界电信标准的制订做出贡献。

由于 ETSI 对一些重要课题采取聘请专家集中进行研究的方式，使得标准的制定程序加快。如 GSM 就是采用专家组的方式进行研究的，因此比 ITU 超前，并对 ITU 标准的制定工



作产生促进作用。

3GPP/3GPP2 **中文名称：第三代合作伙伴计划/第三代合作伙伴计划 2**
英文名称：3GPP/3rd Generation Partnership Project
3GPP2/3rd Generation Partnership Project 2

当前我国通信界最关注的事情之一，就是 3G 了，特别在国内，TD-SCDMA 备受关注，因为这是我国提出的标准，并且通过了国际电联的审核而被采纳成为全球三大 3G 标准之一。这是中国百年电信史上第一个完整的通信系统国际标准。

那么其他两大标准是谁制定的呢？就是我们下面要介绍的 3GPP 和 3GPP2。

3GPP 是在 1998 年 12 月由欧洲的 ETSI、日本的 ARIB 和 TTC、韩国的 TTA 以及美国的 ATIS 五个标准化组织发起的，这个来头可不小，发起者本身都是地区性标准领域的龙头老大，他们联合起来成立一个标准组织，影响力可想而知！就通信领域的影响程度，不亚于上合、北约、欧盟联合起来成立一个组织在全球的影响力——当然，上合、北约和欧盟联合的可能性几乎为零！

3GPP 致力于为第三代移动通信系统制定一套全球性的技术规范，该规范基于 GSM 的核心网络技术和 3GPP 成员支持的无线技术，如 UTRA、GPRS、EDGE 等。这个规范就是 WCDMA。

3GPP 在组织架构上主要有项目协作组和技术规范制定组，技术规范制定组每年都会有一段时间把所有成员都聚到一起开会，讨论技术问题，以此来保证技术活动的顺利开展。技术规范制定组又分为 4 个方面，即无线接入网、核心网、终端、业务和系统，从而形成一整套的 3G 规范。

3GPP 目标在于希望通过世界各地的标准化组织集合起来，着眼于终端的全球漫游，构建一个全球统一的移动通信网络。

3GPP2 和 3GPP 非常类似，它成立于 1999 年 1 月，也是由一些标准化组织联合成立的。组织机构和目标宗旨都和 3GPP 非常类似，不同之处在于，3GPP2 制定的标准是 cdma2000。而且它的成员主要是北美和亚洲的标准化组织，中国通信标准化联盟（CCSA，China Communications Standards Association）也是该组织成员。

3GPP 和 3GPP2 两者实际上存在一定的竞争关系。

ANSI **中文名称：美国国家标准学会**
英文名称：American National Standard Institute

美国国家标准学会是美国非营利性民间标准化团体，成立于 1918 年，总部设在纽约，有 250 多个专业学会、协会、消费者组织以及 1 000 多个公司（包括外国公司）参加，联邦政府机构的代表以个人名义参加其活动，不接受政府的资助。

ANSI 经联邦政府授权，作为自愿性标准体系中的协调中心，其主要职能是：协调国



内各机构、团体的标准化活动；审核批准美国国家标准；代表美国参加国际标准化活动；提供标准信息咨询服务；与政府机构进行合作。理事会是 ANSI 的决策机构，由各大公司、企业、专业团体、研究机构、政府机关的代表组成。理事会休会期间，由执行委员会代行其职能。

C 语言和 C++语言标准就是由 ANSI 负责制定和管理的。



其他标准化组织

与通信有关的其他标准化组织还有 IEC（国际电工委员会）、CCSA（中国通信标准化协会）等。



第22章 Chapter 22

通信企事业单位简介

通信是一个大行业，是国民经济的基础性、战略性、支柱性产业。本章老杨将简要介绍在中国市场销售产品和提供服务以及管理市场的部分国内外企事业单位。客观地说，中国通信市场巨大，企业数量众多，不断新进入中国市场的外国企业也逐渐增多，要覆盖全，是不可能的。因此，请读者将本书未提到的通信行业的机构发到本书责任编辑的信箱weiyi@ptpress.com.cn，如果本书能再版（老杨当然希望如此），会在书中增添这些企业。老杨也热盼有更多有实力的国内企业上榜！

通信行业的价值链条上，大家各司其职，共同协作，他们各自的角色如何呢？我们平时所说的电信运营商、设备制造商、系统集成商等，他们的作用和功能是什么？他们有哪些用户群体？会有什么样的发展空间？他们的利润来源是什么？这对通信人了解行业背景很有价值。我们就先从价值链条说起吧。



通信行业的价值链条

通信行业的任何产品和服务，最终是面向大众消费者的。通信行业中任何产品、服务、资金、技术的输送过程，就好像物理学中物体的“内力”和“外力”，通信企业之间的销售和服务过程，是“内力”，而向外部广大用户的销售和服务过程，则应该是“外力”。

比如说电话机，是卖给家庭、企业的，但是仅仅有电话机是不够的，还要有电信运营商提供电话业务，而“电话业务”如何解释呢？它不像电话机本身能看得到、摸得着。它是一种，通过电信运营商建设网络、实现大众客户互相通电话的能力。

信息产业的主管部门是工业和信息化部，通信行业的所有行为都受工信部管理。下面是通信行业的主要组成部分。

1. 基础电信运营商

电信运营商提供基础电信服务和增值电信服务给企业、家庭、个人等，也可将自身的基础电信网络租赁给增值服务提供商或者虚拟运营商，由他们进行进一步的业务整合，向客户提供服务。电信运营商一般不会亲自开发相关的软件和硬件，他们更多地是购买（个别也是合作）设备制造商的产品来进行组网，或者搭配自己的资费政策一起销售（比如手机、电话



机、ADSL、PBX 等终端类应用），他们可能会成立自己的研究机构来对用户业务进行开发而非设备本身的开发。电信运营商的商业模式就是通过提供服务收取合理的费用，从而创造相应的利润。

2. 设备制造商

设备制造商开发出各种通信产品，销售给电信运营商和行业、企业客户以及最终用户，也可能销售给其他设备制造商。

比如移动网络，基站、手机、交换机、线缆等设备，都是由设备制造商开发、制造出来的。设备制造商将基站、交换机、线缆等产品销售给电信运营商，电信运营商组网后向大众提供手机互拨业务。而手机的设备制造商开发、制造出手机后，销售给最终用户。如何销售呢？有的通过电信运营商的营业厅，采用手机资费套餐的形式，就是说设备制造商与电信运营商合作，将话费和手机结合起来，销售给大众；有的手机是电信运营商赠送给客户的，而客户必须交足额的话费押金，而对电信运营商来说，这些话费押金带来了充足的现金流，其利润又可以支付给手机制造商相应的手机成本。有些设备制造商销售的产品，不带自身品牌，而是由有市场能力的公司贴牌销售，这些设备制造商被称为 OEM (Original Equipment Manufacture)供货商。

与之相似的是原始设计制造商（ODM，Original Design Manufacturer）。ODM 的特征是：技术在外，资本在外，市场在外，只有生产在内。当然，目前国内的大量实际情况是，有技术实力的原始设计制造商将自己的产品出售给有市场能力的、有品牌的设备供应商，让它们贴自己的品牌进行销售。国内很多知名的大型企业都用这种方式来补充自己的产品线，而这些产品的核心技术并不属于这些大型企业。这种 OEM 的方式，反倒激活了一大批有思想、有技术实力、小规模的通信设备制造企业。

华为、中兴、贝尔、烽火、普天、思科、AVAYA 都属于设备制造商行列。

另外一种设备制造商，是芯片或芯片方案供应商。中国的芯片制造能力处于国际比较落后的地位，重要的芯片或芯片方案，都是西方国家制造的，如 CPU、内存、DSP、交换芯片等；国内只能制造一些技术含量较低的芯片，比较有名的有大唐微电子（SIM 卡中国份额最高的厂家）、上海贝岭、珠海炬力（知名的 MP3 芯片的价格杀手）等。华为、中兴等企业正在研发具有自主知识产权的芯片，随着中国经济的迅猛发展，相信不久的将来，国产芯片的应用会越来越广泛。

还有一种设备制造商，叫做“中间件”供应商。通信行业中，CTI 领域就活跃着大量的中间件厂商。

3. 系统集成商

系统集成商是设备制造商和行业企业客户、运营商之间的“粘合剂”。系统集成商一般以解决方案的形式向客户销售。多种产品可能由多个设备制造商制造出来，由统一的系统集成商根据客户的需求进行组合并完成项目实施的工作。有的系统集成商自己也开发一些产品来弥补组网方案中的缺失部分。系统集成商的价值就体现在对客户群体资金实力、技术实力和

实际需求的了解，对产品、方案的深入了解，向客户提供完善的一站式服务。亚信科技就属于老牌的通信行业系统集成商。

4. 代理商

设备制造商向其客户群体销售自己的产品过程中，可能会遇到两类困难：首先，很多设备制造商具备很强的产品开发能力，而缺乏对具体客户的熟悉，当然这并不是说设备制造商都不了解市场需求，而是缺乏足够的销售队伍针对目标客户群的每个客户进行销售；另外一种情况是，设备制造商没有足够的资金实力来大批量制造产品。那么设备代理商就出现了。他们了解客户群体，了解设备制造商的产品，有足够的资金实力可以对设备进行一定量的库存。如果一个设备制造商能够有 10 家设备代理商，那么其市场只要面对这些代理商即可。

电信服务商也会有自己的代理商，他们可以利用这些代理商扩大自己的客户群体。比如中国移动发展大量代理商来向客户提供号码销售、手机销售和充值。

国内在 PBX 领域很强的代理商——启博集团以及思科的总代理——神州数码，则是比较典型的“代理商”。

5. 增值服务提供商和虚拟运营商

增值服务提供商就是常说的 SP（Service Provider）。SP 的作用是利用基础电信运营商的网络资源的一部分（如带宽、端口、VPN、内容等），为用户提供各种增值服务。比如短信类的 SP，以提供天气预报、新闻、股票等有价值信息给客户来获取利润；小区短信业务，就是在特定人群中发送特定的短消息，这是近年来比较火爆的一种 SP 增值业务；漏话通业务，将因为手机关机或者不在服务区而漏掉的电话，通过接收短信的形式获取；QQ 聊天（和腾讯的 QQ 完全不是一回事），是通过提供类似会议系统的服务，让许多人在语音聊天室里面聊天交友。当然不客气地说，很多 SP 也在发展半地下的色情、赌博业，这并不是通信行业特有的，而是通信技术被社会不良风气所利用以赚取高额利润，它们并非通信的主流。

虚拟运营商（VNO，Virtul Network Operator）更像是基础电信运营商的“代理商”，他们租用一部分网络资源，拥有自身熟悉的客户群体，提供各种增值服务。比如国内活跃着相当一批 VoIP 话务批发商和零售商，它们就属于“虚拟运营商”。

6. 管理机构和产业联盟

官方的组织机构，包括国家机关和事业单位，对整个通信行业起到规范、监管作用，比如工业和信息化部就是中国电信行业的管理机构，肩负着标准制定、运营牌照发放、对互连互通的要求和协调等职责。

各种行业还有各自的产业联盟，这些属于非政府组织，如 TD-SCDMA 产业联盟等，是民间的、企业间的沙龙形式的松散联盟，并没有太多的法律约束要求联盟的成员必须如何做，往往是提出一些希望企业都可以遵循的倡议。

7. 标准化组织

ITU 是对全球电信界都有巨大影响的标准化组织，这在第 21 章已经介绍过了。国内通信



界最权威的标准化组织是 2002 年在北京成立的“中国通信标准化协会（CCSA）”。该协会是国内企、事业单位自愿联合组织起来的、以开展通信技术领域标准化活动为目的的非营利性法人社会团体。

协会的主要任务是更好地开展通信标准研究工作，把通信运营企业、制造企业、研究单位、大学等关心标准的企事业单位组织起来，公平、公正、公开地制定标准，进行标准的协调、把关，把高技术、高水平、高质量的标准推荐给政府，把具有我国自主知识产权的标准推向世界，支撑我国的通信产业，为世界通信作出贡献。

8. 研究院、所

新中国成立以后，国内建立了一个复杂的电信行业的研究院、所体系。受历史的影响，研究院为政府、电信运营商、设备制造商以及通信行业所有的参与者提供面向未来的科技研究、政策制定、标准探讨、入网检测、专家和研究生培养等服务。工业和信息化部电信研究院是中国政府唯一的国家级电信研究机构，其前身为创建于 20 世纪 50 年代中叶的原邮电部邮电科学研究院，由原来的邮电部传输所、规划院、情报所、通信计量中心、工业标准化所等单位组成。今天的大唐电信科技产业集团，同时是“电信科学技术研究院”；今天的烽火科技，同时是“武汉邮电科学研究院”。

9. 电信规划设计院

在我国电信行业，各级电信规划设计院为运营商提供网络规划建设和工程实施咨询、评估、设计和实施，如中国移动通信集团设计院、北京电信规划设计院和江苏邮电规划设计院等。



工业和信息化部

通信行业的主管部门是工业和信息化部，于 2008 年由包括原信息产业部在内的多个部委合并成立。

我们经常听说新产品拿到了入网证、运营商之间网间结算政策、语音通信最高资费标准、企业信息化的发展推进、对某个频段的无线频率的分配、运营商之间的拆分和整合等，都与工业和信息化部有着密切关系，其中很多方面甚至是由该部全权负责的。

工业和信息化部所辖的与电信管理有关的业务部门有电信管理局、无线电管理局、装备工业、通信发展司、信息安全协调司、科技司、电子信息司、信息化推进司、国际合作司等。各省、直辖市、自治区都有各自的地方电信行业管理机构。电信行业实行工业和信息化部与所在省、自治区、直辖市人民政府双重领导。



主要电信运营商

2008 年电信运营商的大改革，对中国电信业发展的影响将是深远的。要描述中国的电信运营商，并非一件简单的事。作为改革后第一个年头，我们只能简单地对它们做一个描述，如图 22-1 所示。



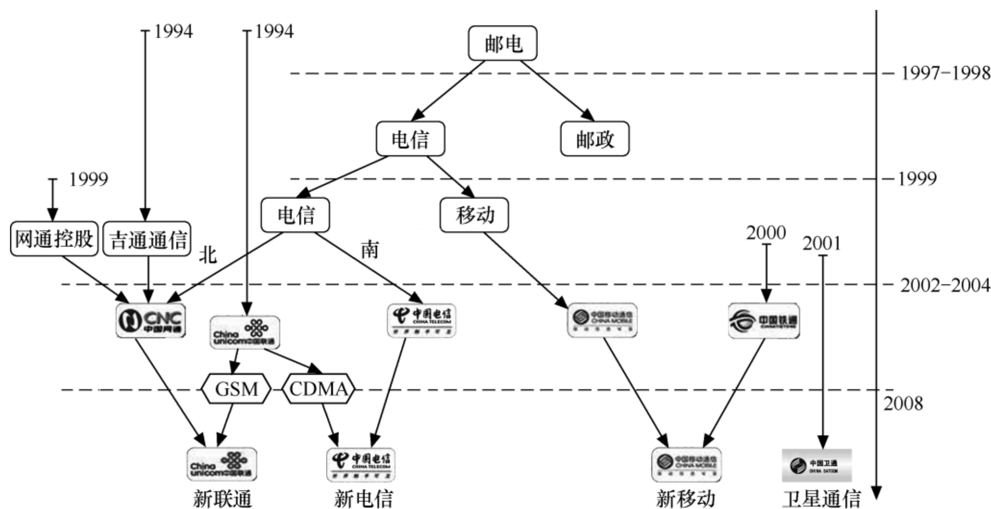


图 22-1　电信体制改革的历史

1. 中国电信

老的中国电信品牌成立于 1950 年，多次拆分、组合，2002 年新的中国电信成立，2008 年更新的中国电信整合了原中国联通的 CDMA 网络后成立，目前主要经营国内、国际各类固定、移动电信网络设施，包括本地无线环路；基于电信和移动网络的语音、数据、图像及多媒体通信与信息服务；进行国际电信业务对外结算，开拓海外通信市场；经营与通信及信息业务相关的系统集成、技术开发、技术服务、信息咨询、广告、出版、设备生产销售和进出口、设计施工等业务。

2. 中国移动

中国移动年轻、富有朝气，自 1998 年从原中国电信拆分出来后，主要经营移动语音、数据、IP 电话和多媒体业务，并具有计算机互联网国际联网单位经营权和国际出入口局业务经营权。除提供基本话音业务外，它还提供传真、数据、IP 电话等多种增值业务，拥有“全球通”、“神州行”、“动感地带”等知名服务品牌，网络规模和客户规模全球第一。2008 年铁通合并进入中国移动，成为中国移动的固网部门。

3. 中国联通

前中国联通曾打破中国电信运营商由电信一家垄断的局面，并同时拥有两张移动网（GSM 和 CDMA）和一张全国范围的数据网，曾经在天津、成都和重庆拥有固网运营资格，但是并没有广泛开展业务。

前中国网通是由 1993 年回国创业的田溯宁等人创办，随后重组为中国网络通信（控股）有限公司，以宽带为主要业务方向。2002 年 5 月 16 日，根据国务院《电信体制改革方案》，中国网通在原中国电信集团公司及其所属北方 10 省（区、市）电信公司、网通控股、吉通通



信基础上组建而成。2004 年 11 月，中国网通在纽约和中国香港成功上市。

2008 年前中国联通将 CDMA 网络出售给中国电信后，与前中国网通合并，成立新的中国联合网络通信有限公司。



增值服务提供商

1. 中电华通

中电华通总部位于北京，是中电集团控股的二级运营商、增值服务提供商。它成立于 2003 年，原名中国电子科技集团控股公司，2005 年经过资产重组，公司股东更新为信通数据网络通信公司、中诚信托投资公司、中华通信系统公司、中元国信信用担保公司等。它是我国较大的二级电信运营商和增值业务提供商。而近年来火爆的“无线城市”更让中电华通声名大噪，目前该公司在全国多个城市建设“无线城市”，已建成北京市的一期无线覆盖。

2. 中电飞华

中电飞华总部位于北京，是电力系统控股的二级运营商、增值服务提供商。它成立于 1997 年，是国家电网公司出资控股的二级运营商、增值服务提供商，拥有跨地区增值电信业务许可证、计算机信息系统集成资质和 ICP 经营许可证，主要业务涵盖行业信息化解决方案、电力线通信相关业务、增值电信业务。

中电飞华依托电力系统，有着非常稳固的客户群体，包括国家电网公司、中国国电集团、中国华能集团等电力行业大型企业。

3. 263

263 是一直致力于电信增值业务运营的增值服务提供商。www.263.net 是当年知名的门户网站。该公司业务经营范围比较广泛，且每个业务知名度都颇高，如 263 电子邮件，使用者多为商务精英人士。96446IP 长话服务、950509 多方长途、263CC 电话会议等面向公众的业务，铺天盖地的广告，让 263 广为人知。2008 年 12 月，263 在北京宣布以现金方式收购美国 VoIP 运营商 iTalk 的 50%股权，实现控股，从而绕道海外进入 VoIP 运营市场。

4. 长城宽带

长城宽带是中国推行互联网宽带接入的先驱，由长城集团和中信集团联合投资设立，总部设于北京，并在全国 30 多个城市设有分支机构。它一直致力于以新一代以太网技术为基础的宽带网络建设，为用户提供从接入到骨干、从天空到地面的端到端宽带解决方案，并逐步发展了基于多媒体技术的宽带产品和各种增值服务。作为国内颇具影响力且发展潜力巨大的驻地网运营商，它经历了不少艰苦和曲折的道路。

5. 歌华有线

歌华有线隶属于北广传媒集团。它是唯一一家负责北京地区有线广播电视网络建设开发、经营、管理和维护的网络运营商，公司从事广播电视节目收转传送和广播电视网络信息服务，2001 年在上海证券交易所上市。





设备制造商

中国通信产业高速发展10多年，活跃在中国市场的设备制造商真可谓“浪花淘尽英雄”，本节介绍业内几个知名企业，仅供参考！

1. 华为技术

华为技术成立于1988年，从PBX代理商到自主研发程控交换机，并逐步涉足多种电信设备的研发和制造，其公司“狼性”文化成为中国通信行业以致中国自主知识产权领域的排头兵，也是电信设备制造商争相模仿的对象。华为技术的总裁任正非更因其卓越的管理才能和远见卓识，被业内奉为精神领袖。

华为产品和解决方案涵盖移动、光通信、核心网、接入网、数据网、电信增值业务、网管系统和部分终端领域。

目前，华为的产品和解决方案已经应用于全球100多个国家。

2. 中兴通讯

作为在中国香港和深圳两地上市的大型通信制造业上市公司，中兴通讯凭借有线产品、无线产品、业务产品、终端产品四大产品领域的卓越实力，成为中国电信市场最主要的设备提供商之一。无论是小灵通、还是视频会议，或是CDMA，中兴通信都走在市场最前沿，也是中国通信设备制造商中，“步点”踩得较准的。

3. 上海贝尔

上海贝尔是中国电信领域较早引进外资的股份制企业，拥有丰富的国际资源。

上海贝尔提供端到端的电信解决方案和高质量的服务，产品覆盖固定、移动网络、宽带接入、智能光网络、多媒体解决方案和网络应用。它的营销服务网络遍及全国，并在50多个国家开展海外业务。

4. 普天集团

1906年，清政府在当时的官办电话局里设立了一个铜匠处，专门负责为慈禧太后修理电话。这个小小的铜匠处就是中国普天的子公司——首信集团的前身。1932年，当时的中天电机厂，也就是现在中国普天子公司——天津电话设备厂的前身，在只有3间厂房、8名技术工人和8台机床设备的简陋条件下，制造出了中国的第一部电话机——手摇磁石电话机，这是最早的完全由中国人自己制造的电话机。1980年，中国普天的前身——中国邮电工业总公司成立。当时邮电部几乎将其所有所属的邮电工业企业都划入其中，使其名副其实地成为我国历史最为悠久的通信设备制造行业的“航空母舰”。

5. 大唐电信

老牌的通信国有企业，目前为大唐电信科技产业集团，下设两个上市公司和多个子公司，其属下的大唐移动是TD-SCDMA标准的倡导者和主要标准的发起者和专利拥有者。

在2000年以前，知名的四大通信设备制造商“巨（龙）、大（唐）、中（兴）、华（为）”，其中的“大”就是指大唐。



目前大唐电信的主要业务是移动通信中的 TD-SCDMA、SCDMA 和 SIM 卡；在 BOSS 和数据通信方面，大唐电信也都具有一定实力。

6. Nokia（诺基亚）

全球电信行业发展史中最独特的一次转型就发生在诺基亚身上。1865 年，一个叫做艾德斯坦的人在芬兰诺基亚河沿岸创建了一家木材纸浆厂，取名“诺基亚”，经过近 100 年时间，它发展成为纸张、橡胶、电缆等综合性生产企业。1960 年，该公司在电缆厂成立电子部。1992 年，公司转型，开始经营计算机、电子消费品和电信产品，而当时通信产品只占据诺基亚年营业额的 15%。经过 10 多年的发展，诺基亚已经成为世界最大的移动电话生产商之一，为用户提供移动通信、多媒体网络应用、网络管理解决方案等。

7. Errison（爱立信）

1876 年爱立信成立于瑞典的斯德哥尔摩，从早期生产电话机、电话交换机发展到今天，业务遍布全球 140 多个国家，是全球领先的端到端全面通信解决方案以及专业服务的提供商。它的主要业务体系包括通信网络系统、专业电信服务、企业系统和移动终端业务。爱立信是全球最大的移动系统提供商，为世界上所有主要移动通信标准提供设备和服务。全球 40%的移动呼叫通过爱立信的系统进行。2001 年它与 SONY 成立了合资公司——索尼爱立信（Sony-Errison），专门开发和销售手机，这就是我们常说的“索爱”。

8. CISCO（思科）

思科系统公司是美国斯坦福大学的一对教师夫妇于 1984 年成立的，它制造了全世界互联网的“钢筋混凝土”，这绝不是夸张，因为其曾经占据全球互联网路由器 95%以上的份额。它出产的路由器和交换机，其系列名称、命令行都成了全球路由器交换机制造商顶礼膜拜的对象。

今天思科的经营范围几乎覆盖了网络建设的每个部分，组成互联网和数据传输的路由器、交换机现在几乎都由思科公司控制。我们看一看思科的产品范围吧：以路由器、交换机、IOS 软件为主，还有宽带有线产品、板卡和模块、内容网络、网络管理、光纤平台、网络安全产品与 VPN 设备、网络存储产品、视频系统、IP 通信系统、无线产品、统一通信产品等。

思科的认证体系非常健全，成为 CISCO 的认证工程师（如 CCNP、CCIE、CCDA 等）是无数网络工程师追求的目标。

9. AVAYA（亚美亚）

AVAYA，被翻译为“亚美亚”，前身是朗讯科技企业网络部。自 2000 年从朗讯公司脱胎以后，发展非常迅速，在全球的呼叫中心市场占有非常高的份额，财富 500 强公司中的 90%都采用 AVAYA 的产品。

公司目前拥有的产品包括：企业通信服务器、校园数据网络交换机、广域网产品、网络安全设备、网络管理软件、针对局域网和建筑物内通信提供的企业无线解决方案以及信息处理和客户关系管理解决方案。AVAYA 在信息处理技术和呼叫中心领域居世界领先地位，在语音通信系统领域居美国领先地位，同时拥有强大的销售与服务资源。

10. Polycom（宝利通）

全球最知名的视频会议设备制造商，Polycom 被翻译为“宝利通”。它的商业模型也非常独特——将所有竞争对手尽可能地购买回来，比如 ASPI Digital、pictureTel、Circa Communications、Accord Networks、Atlas Communication、ViaVideo 等视频会议公司，都陆续被 Polycom 收购。

11. Motorola（摩托罗拉）

摩托罗拉公司因在无线和宽带通信领域的不断创新和领导地位而闻名世界。摩托罗拉公司是世界财富百强企业之一，拥有全球性的业务和影响力。它有三大业务集团，分别是企业移动解决方案部、宽带及移动网络事业部和移动终端事业部。

摩托罗拉公司于 1987 年进入中国。目前主要产品有手机、对讲机、无线通信设备、移动通信设备等，是中国最大的外商投资企业之一。

12. Nortel（北电网络）

老牌通信企业，已经有一个世纪的历史，总部在加拿大，中国总部在北京，在加拿大、欧洲、亚太地区、加勒比和拉丁美洲、中东、非洲及美国都设有办事机构和工厂。北电网络提供 Internet 电话、数据、无线和有线解决方案，曾经在传输、交换、无线等领域拥有国际一流技术。2009 年 1 月，受到销售下滑的影响，它向美国法院申请了破产保护。

13. 其他设备制造商

为了让读者对中国通信设备制造企业有更加深入的了解，老杨根据产品类别罗列部分设备制造商，表如 22-1 所示。

表 22-1　　部分设备制造商列表

传输类	PDH 光端机	上海贝尔、格林威尔、西门子、烽火、欧林克、高科、邮科、W-link、瑞斯康达、光桥、博威、广邮、BTS、同联、SPACECOM、东科、雅企、VBEL、志美、OPTONE、奇偶光电、RAD、汉信、天方光电、郎恒科技、亿兆未来、G-link
	SDH	华为技术、中兴通讯、富士通、烽火、上海贝尔、NEC、西门子、ECI、北电、爱立信、大唐电信
	WDM	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、烽火、泰乐、北电、长江
	PON	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、烽火、日立
语音类	程控交换机和接入网	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、大唐电信、NEC、朗讯、北电、诺基亚、爱立信、太光
	PBX	华为技术、中兴通讯、Aavaya、敏迪、松下、爱立信、华亨、佳和、申瓯、沪光、亿泰、高科、国威、TCL、普天、威而信、丽波电子、飞利浦、东芝、大唐电信、NEC、三星、西门子、冲电气、迪艾斯、融天
	VoIP 语音网关	潮流、思科-Linksys、奥科、H3C、D-LINK、高科、讯时、傲威、世纪网通、锐捷、旋极
	语音板卡	Dialogic、NMS、东进、五岳鑫、三汇、来讯、鼎铭



续表

语音类	软交换	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、西门子、朗讯、烽火、Vocaldata、傲威、诺基亚、爱立信、Teklec
	呼叫中心或CTI	Genesys、奥迪坚、合力金桥、Avaya、青牛、思科、NMS、点石、纽顿兰、瑞丰、润普、旭源融合、华琪资讯、讯鸟、英立讯、傲威、eOn、飞利浦、恒生、浩丰时代、捷通华声、科大讯飞、华旗软通
数据类	路由器	华为技术、思科、中兴通讯、迈普、博达、中怡数宽、万兆、联想、华硕、腾达、安奈特、阿尔法、侠诺、金浪、飞鱼星、网件、网达、锐捷、长江、TP-LINK、D-LINK、雷射、惠普、H3C、Juniper、Netgear
	以太网交换机	华为技术、思科、思科-Linksys、H3C、Juniper、中兴通讯、迈普、博达、TP-LINK、D-LINK、磊科、阿尔法、飞鱼星、金浪、锐捷、新格林耐特、联想、神州数码、安奈特、爱迪麦斯、长江、惠普、清华同方、Extreme、IP-COM、MiLan、德胜
	DSLAM	华为技术、中兴通讯、烽火、西门子、大唐电信
	接口转换器	邮科、三威、博威、ELASTIS、MOXA、RAD、波士、三泰、元通、CCOM、烽火、德胜、格林威尔、台康、Airnet、CKL、Fibit、SPACECOM、佳盈、同联、G-link、OPTONE、VBEL、趋势、雅企、CTC、互通、普莱德、W-link、瑞斯康达、亿兆未来
	NAS、B-RAS	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、H3C、Redback、中太
	ATM、FR、DDN	北电、朗讯、大唐电信、上海贝尔、ADC
无线类	Wi-Fi	TP-LINK、D-LINK、思科-Linksys、腾达、华硕、H3C、智邦、微星、奥维通、爱迪麦斯、中怡数宽、Proxim、Netgear、神脑、高锐、创智
	无线微波	华为技术、中兴通讯、贝尔、地杰、普天、大唐电信、Redline、奥维通、Airspan、金鹏、京信、长江、NEC
	LMDS、MMDS	思科、Iospan、爱立信、IPWireless、NextNet、Hybrid、Vyyo、中兴通讯、上海贝尔、华为技术、地杰、NEC、北电
	WiMAX	华为技术、中兴通讯、三星、思科、诺基亚、英特尔、普天、上海贝尔、华硕、Aperto、Airspan、奥维通、Redline、Proxim、NEC
	卫星	航天恒星、北斗星通、休斯网络、SKYWAN、IPSTAR
移动类	2G	爱立信、摩托罗拉、诺基亚、华为技术、中兴通讯、北电、上海贝尔、烽火、三星、西门子、国人、凡谷、京信等
	3G	华为技术、中兴通讯、大唐电信、上海贝尔、诺基亚西门子、摩托罗拉、爱立信、新邮通、三星、鼎桥、天碁、普天、展讯、明基、海信、烽火、海尔、国人、亿阳、凡谷、海天、重邮信科、邮科、金鹏、英华达、科泰世纪、星河亮点、安德鲁、Spreadtrum、长方网络、东信北邮、华立、鼎芯、波导、网讯、奥维
	数字集群	中兴通讯、华为技术、诺基亚、摩托罗拉、北电
	小灵通系统	UT 斯达康、中兴通讯、朗讯

续表

移动类	SCDMA	信威、普天凌云、TCL、夏新、创维、康佳、海信、金鹏、联想、振华
	短信网关	华为技术、中兴通讯、微视通、中正、西门子、WAVECOM、若雅、宇讯
	彩信网关	华为技术、中兴通讯、诺基亚
终端类	电话机	西门子、高科、步步高、汉王、TCL、威而信、通用电气、北电、NEC、高新奇、首创、中联、松下
	手机	中兴通讯、诺基亚、摩托罗拉、三星、LG、索尼爱立信、多普达、夏新、联想、夏普、酷派、金立、波导、黑莓、苹果、惠普、CECT、南方高科、京信、宇龙、迪比特、OPPO、HTC、长虹、步步高、天语、O2、唯科、中恒、Palm、联发科
	小灵通终端	UT 斯达康、中兴通讯、华为技术、普天、OKWAP
	传真机	联想、松下、兄弟、理光、三洋、佳能
	数字机顶盒	长虹、华为技术、中大、创维、汇源、科海、金鹏、TCL、熊猫电子、海信、同洲
	ADSL 猫	TP-LINK、D-LINK、IP-COM、腾达、联信永益、星网数码、同维、ECOM、上海贝尔、合勤、全向、华硕、艾玛、普天、大恒
	基带猫	百令达、上海贝尔、巴顿、瑞德、台联、路普、培尔根、达科、赛尔、ADC、ASCOM、特灵达
增值业务类	语音会议	宝利通、腾博（原泰德）、H3C、华为技术、中兴通讯、上海贝尔、飞利浦、爱斯乐、天岚、ClearOne、JBL、EACOME、LiftSize、东讯、Meetease、好会通、MultiCall、V-link、松下、勤思、金钱龟、VCOM、雷蒙、瑞福特
	电信增值业务系统	BEA、青牛、讯鸟、华为技术、中兴通讯、上海贝尔、Cantata、汉铭
视频类	可视电话系统或终端	宝利通、腾博（原泰德）、索尼、Radvision、惠普、思科、中兴通讯、华为技术、H3C、鼎视通、瑞福特、视维、科达、VCON、Aethra、VTEL、Lifesize、天地阳光、威速、D-LINK、迪威、中太、博雅全、远见、捷泰科、V 风、丽台、WebEx、华鼎联创、Aculearn
	IPTV	中兴通讯、华为技术、西门子、夏新、康佳、UT 斯达康、爱立信、松下、飞利浦、三星、索尼、上海贝尔、微软、长虹、海信、盛大、TCL
线缆类	综合布线设备	ADA、AMP、IBM、Beild、CommScope、D-Link、Dynacom、FLUKE、HardLink、哈里斯、安普普天、安普永兴、步步通、大唐电信、鼎志、泛达、慧远、康宁、立孚、绿色硅谷、普天、奇胜、清华同方、顺飞、西蒙、IBDN、NORD、JS、Nexans、Rosenberger、SA、SunnyGreen、TCL、USCNETS、VCOM、YFC
	光纤	AMP、GCI、唯康、大唐电信、趋势、烽火、康普、W-link、通光、中天、鼎志、永鼎、亨通、凯乐、易蒙、法尔胜、D-LINK、IBM、SPACECOM、岳丰、宁波东方、瑞达、绿色硅谷、普天、汇源、罗森伯格、TCL、长飞、清华同方
	双绞线	阿威普、AMP、GCI、Simon、岳丰、汇源、鼎志、凯乐、绿色硅谷、趋势、新科、ADA、贝尔顿、亨通、华普广通、耐威、锐驰、旭普、耐克森、TCL、百通、顺飞、易蒙、SA、长飞、慧远、奇胜、天诚、卓拉、达康、清华同方、大唐电信



续表

网管监控类	综合网管	亚信、直真、中盈优创、亿阳信通、东方通信、中太
	IP 流量监控	亚信、东方通信、亿阳信通、Genie、Arbor、东软、直真、绿盟、Allot、Acsonflow、中太
电源类	电源	爱默生、梅兰日兰、APC、山特、邮科、中兴通讯、宇帆、宝星、爱克赛、四通、科士达、柯曼、金武士、TI、施威特
	电池	爱默生、梅兰日兰、APC、山特、金乐、松下、汤浅、CNB、霍克、风帆
配套类	机架	日升、正信、联翔、AARON、鑫澎、华安、金地、D-LINK、IBM
	接头	西门子、3M、立孚、兆比特、腾达、D-LINK、NetLINK、DVP、万通、诚发、N-NET
芯片类	芯片	大唐电信、华为技术、中兴通讯、英特尔、AMD、TI、Broadcom、高通、意法半导体、飞思卡尔、赛灵思、中星微、华虹、贝岭、奥科、英飞凌、展讯、友旺、炬力、华大、士兰、芯谷、清华同方、华润、振华
软件类	BOSS	亚信、华为技术、软创、联创、创智、神州数码迪科、朗新、神奇、IBM、AC、东软、中科软、华泰贝通、中太
	UC	微软、思科、AVAYA、华为技术、中兴通讯、H3C、西门子、上海贝尔、IBM、Radvision、用友、金蝶、北电、Sybase、甲骨文
服务器类	服务器、工控机、工作站	IBM、惠普、凌华、研华、浪潮、Apple、DELL、华硕、联想、SUN、清华同方、五舟、亿时空、超微
信令类	信令转换器	华为技术、中兴通讯、上海贝尔、声望华胜、铭道、炬元、融天
	7 号信令网关（板卡）	Dialogic、东进、五岳鑫、三汇、奥科、来讯、Cantata、EICON、NMS、中兴通讯、华为技术、Teklec、新太、声望华胜、融天



内容提供商（ICP）

介绍 ICP 是一件很轻松的事情，以下给出一些网址的列表（如表 22-2 所示），自己打开去看，比多少晦涩的文字解释要强很多。在丰富的互联网内容面前，文字反倒显得不那么很好很强大了。

表 22-2　　ICP 网址列表

名　称	网　址	简　介
新浪	www.sina.com.cn	中国最著名的门户网站之一
搜狐	www.sohu.com	中国最著名的门户网站之一。老总张朝阳是互联网时代中国的代表人物之一

续表

名　　称	网　　址	简　　介
网易	www.netease.com www.163.com	中国最著名的门户网站之一。老总丁磊是互联网时代中国的代表人物之一
5460	www.5460.net	中国最知名的同学录之一。5460 取音“我思念您”
谷歌	www.google.com	全球最知名的搜索引擎
百度	www.baidu.com	汉语世界使用率最高的搜索引擎，创始人为李彦宏。2005 年在 NASDAQ 上市。与谷歌类似，商业模式是竞价排名
阿里巴巴、淘宝和支付宝	www.alibaba.com www.taobao.com	“外星人”马云创立的阿里巴巴，是全球最知名的 B2B 模式的网站，淘宝则是 C2C 模式的网站，目前在国内拥有最大的用户群和非常高的知名度。阿里巴巴旗下的支付宝是目前国内互联网电子支付领域的排头兵。阿里巴巴+淘宝+支付宝，完成了电子商务的所有过程
Tom	www.tom.com	李嘉诚之子李泽楷投资建立的门户网站。Skype 的中国合作伙伴
盛大网络、征途网	www.shanda.com.cn zt.ztgame.com	另外一个互联网行业，也是最具有争议性的，就是网络游戏行业。盛大网络和征途网络是其中的佼佼者。陈天桥和史玉柱是经常被人提及的毁誉参半的人物。在业务模式上，他们都是很成功的；但是网络游戏带来的巨大的社会副作用也不可小觑。青少年沉迷于游戏，就像沉迷于鸦片和毒品一样难以自拔，使很多人成了社会的负担、家庭的心病
开心网	www.kaixin001.com	Web2.0 社区，以丰富的内容快速招揽人气，成为时尚流行元素



信息服务/系统集成商

1. 神州数码

神州数码拥有中国最具影响力的 IT 服务品牌，位于首都北京。从 20 世纪 80 年代开始，神州数码 IT 服务业务的前身“联想集成”就开始为金融、电信、税务等行业用户提供信息技术应用服务。IT 业务能力范围有规划咨询、软件开发与实施、系统集成、IT 基础设施建设、IT 外包；为客户商业战略、业务拓展、绩效提升和服务创新提供相关咨询和 IT 系统建设服务。

2. 亚信科技

1993 年，田溯宁（后创立中国网通控股）、丁健等留美学生在美国创建了 Internet 公司“亚信”。1995 年，胸怀“科技报国”理想，田溯宁、丁健率公司主体回到北京，先后承建了包括中国电信 ChinaNet、中国联通 CUNet、中国移动 CMNet、中国网通 CNCNet 等六大全国骨干网工程在内的近千项大型互联网项目。亚信十多年的创业、发展历程，书写了中国高科技企业崛起的经典传奇。作为中国归国留学人员“科技报国”的重要成果，亚信曾率先将 Internet 引入中国，为中国信息化建设作出卓越贡献，享有“中国互联网建筑师”的美誉。





咨询公司

1. Frost&Sullivan

Frost&Sullivan 是一个国际性市场研究顾问公司，1961 年在纽约成立，并迅速成长为世界上最大的和最负盛名的市场研究、出版和培训公司之一。目前 Frost&Sullivan 的服务为自己在 300 多个关键工业领域内赢得了世界性的声誉。Frost&Sullivan（中国）在电信领域里专注于电信运营研究。

2. In–Stat

In-Stat 是全球知名的行业研究机构，针对半导体、电信及消费电子领域进行研究、评估与预测，善于针对新兴市场提供建议。研究领域涵盖从半导体工艺到电子设备、通信基础架构、服务及最终用户的整个价值链。

3. IDC

IDC 是 IDG（国际数据集团）旗下子公司，IDG 是全球领先的媒体出版、咨询、市场研究及会展服务公司。IDC 是全球著名的信息技术、电信行业和消费科技市场咨询、顾问和活动服务专业提供商。IDC 于 1982 年正式在中国设立分支机构，是较早进入中国市场的全球知名市场研究/咨询公司之一。它的客户包括全球财富 500 强中多家著名跨国公司和中国本土许多行业的知名企业。

4. Gartner

Gartner 即“高德纳咨询公司”，它是一家提供有关全球 IT 行业的研究和分析服务的领先公司，帮助企业利用技术来实现改革和发展。

市场定位面向 IT 专业人士、技术公司和技术投资公司以及首席信息官（CIO）和其他高级管理人员，其主要产品和服务是研究报告、新闻、各种研讨活动；对等网络服务和会员计划，定制化咨询服务等。近年来它在国内市场非常活跃。

后记

Afterword

性格决定命运

能写“后记”，就像长征能会师一样，坚强打败了懦弱，勤劳战胜了懒惰。我们感慨人世间太多的不平衡：任何一件微不足道的事情，都可能让人放弃，而要能坚持下来，需要的则太多太多。

2008年，对中国来说，注定是不平凡的一年。一系列国际国内大事的发生，无论是预料之内的还是预料之外的，我们都通过通信和媒体亲身经历。这是个伟大和绚丽的时代，这是一个英雄辈出的时代！我相信在若干年后，我们依然会记住2008年，对于中国和中国人如此不平凡的一年。而对于通信人，2008年，也是伟大变革的一年。2008年“5•17”电信日之后的几天，重大消息传出——新一轮的电信运营商整合结果公布。三大电信运营商的整合刚刚尘埃落定，2009年1月7日，工业和信息化部将3G的三张运营牌照发到了三大运营商手中。中国通信史开始崭新的一页！

我们出生于20世纪70年代中期，一直生活在和平年代，没有经历过战争，没有经历过饥荒，没有上山下乡，没有经历过太多前辈们经历过的重大政治事件。但我们有幸进入一个正在逐步崛起的国家的通信行业中，这个行业的新技术、新理念层出不穷，科技正在突飞猛进地以人们意想不到的速度改变着每个人的生活。身边不断发生着这样的神话：家里刚刚装上电话没几天，固定电话已经开始走下坡路，手机时代到来；当我们正满足于寻呼机的便捷时，短信时代到来了；当我们刚刚开始会用电子邮件时，互联网的泡沫正在快速破灭；当我们手里刚刚有了几个闲钱准备去逛商场，电子商务时代的到来又开始冲击传统零售业……我们已经对这种高速的变革习以为常了，如果哪一天稳定下来，估计我们反倒会极不适应。

在这个信息爆炸的时代里，天天都有新事物，天天都有新故事，昨天的发明今天可能已经摆在你的床头，早上的新闻下午已经成为



历史，今天还被无数人关注的所谓“头条”明天就可能被公众淡忘，刚刚买来的高科技产品，没几天已经落伍并惨遭淘汰，不信，看看家里存放的 VCD 机、蓝屏手机以及你的 P133 的电脑吧……当然也有我们这样“朝闻道”，却“昔已自认专家”的“厚脸皮”。

不是我们不明白，这世界变化太快！如果说什么东西没有改变，也很难改变，那可能就是人的性格！

“性格决定命运”，无论对于人，还是对于国家。当书写到最后，我们脑子里不自觉地就浮现出这句话。因为这句话最适合于今天我们的心情，也很适合于我们这个国家的国情。

中国人两千年来都一直受到儒家思想的影响，性格中植入了隐忍、乐观、积极、虚心、豁达。你不信？好吧，让我们找出任何一本“四书五经”中的著作，打开任何一页，读读里面的文字，你会发现，也许许多话你都没读过，但是每一句，你都似曾相识。“工欲善其事，必先利其器”，“三人行必有我师焉”，“知之者不如好之者，好之者不如乐之者”，“学而不思则罔，思而不学则殆”，“吾日三省吾身”，“不患人之不己知，患不知人也”……

这就是中国人性格浓缩出的文字。隐忍、乐观、积极、虚心、豁达的性格，让中国强大了上千年，秦皇、汉武、唐宗、宋祖，我们一路领先！但是一百多年前开始，我们的国家落伍了。伟人说过，“落后是要挨打的”，今天虽然中国没有真枪真刀的战争，但是，在科技领域如果落伍，你的发展就会受到严重影响！看看以下讯息吧！

- 全中国一年出口衬衣的总利润，不够买一架中等配置的波音飞机！
- 全中国的 DVD 制造商都在为那些拥有 DVD 专利的外国企业打工，因为中国在这个领域一直没有国际承认的标准，不得不向别国支付高昂的专利费！
- 中国的一些内部事务总是被国际上一些强权国家无理由地横加干涉。

……

这就是“挨打”，因为你落后！当然，这也是因为你正在逐渐走向强大，而有人恰恰害怕你强大起来！

回到性格上来，如果说过去的落伍，是因为我们自闭、易于满足的个性，那么今天，我们“知耻而后勇”，我们更应该继承祖先积极、乐观、隐忍的性格，用我们的智慧和勤劳，勇于探索的勇气和信心，武装我们自己，让国家强大、民族复兴——这是我们这几代人的责任，需要我们用毕生的精力去为之奋斗！

在中国五千年的文明史中，我们祖先的性格，都曾跃然纸上：遇到困境，我们“卧薪尝胆”；对待事业，我们“头悬梁锥刺股”；对待毁誉，我们“宠辱不惊”；对待诱惑，我们“不食嗟来之食”；对待朋友，我们“有朋自远方来，不亦乐乎”；对待学习，我们“学而时习之”；对待天下人，我们“先天下忧而忧，后天下乐而乐”。这就是中国人的性格，这就是支撑我们走过了几千年岁月的华夏民族的宝贵品质！今天，轮到我们了！

好的性格，让我们更加团结而不是一盘散沙；好的性格，让我们奋发图强励精图治；好



的性格，让我们互相鼓励而不是互相埋怨；好的性格，让我们努力学习别人并善于学习别人；好的性格，让我们经过千锤百炼而更加沉稳和健壮；好的性格，让我们自己掌握自己的命运，在任何灾难、困难面前百折不挠，“不抛弃、不放弃”，勇往直前！我们不去欺负别人，但是也绝不允许任何人欺负我们这个曾经历经无数深重灾难的伟大民族！

本书即将结束。请允许我们再次重复在第 20 章中最后的那句话：希望人类子孙后代的通信教科书上，写满中国人的名字！

我们把这本书，谨献给为中国的通信事业作出贡献和即将作出贡献的通信工作者！











ISBN 978-7-115-20440-0
定价：

分类建议：通信基础
人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn